



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

La sensibilitat de la demanda en autopistes de peatge: el cas AP-7 Nord

Període 2002 - 2016

TREBALL FINAL DE GRAU

Autora: Judit Busquets Casals

Tutor: José Ramón García Sanchís

Grau d'Economia

Curs acadèmic 2018/2019

Facultat d'Economia i Empresa

La sensibilitat de la demanda en autopistes de peatge: el cas AP-7 Nord

Resum

Paraules Clau: autopistes de peatge, concessió, determinants del trànsit, elasticitat, panell de dades

Des de fa 50 anys, el sistema de concessions de les autopistes de peatge a Espanya ha permès a l'Administració augmentar els seus recursos i traslladar part del risc associat al sector privat. Davant la situació actual, en el qual un important nombre de concessions estan a punt de cessar, s'ha trobat interessant analitzar quins són els principals determinants de la demanda en les autopistes de peatge per així poder descobrir-ne la sensibilitat de la seva demanda. En concret, s'ha centrat el cas d'estudi a l'AP-7 Nord dividida en sis trams. Per tal de realitzar-ho, s'ha proposat la creació i posterior estimació d'un model economètric, que serà l'encarregat de determinar les elasticitats dels determinants de la demanda en l'AP-7 Nord. Els resultats mostren que l'estimació més adient, en el present estudi, és la de dades de panell per efectes fixos. Aquests resultats confirmen que la demanda és inelàstica respecte el peatge i el PIB real per càpita, mostrant uns valors d'elasticitat similars als obtinguts en estudis previs. A més a més, es demostra com una via alternativa de qualitat similar gratuïta té un efecte significatiu en la sensibilitat de la demanda en l'AP-7 Nord.

Demand sensibility on Tolled Motorways: the AP-7 North case

Abstract

Key words: concessions, determinants of transit, elasticity, panel dataset, toll motorways

For 50 years, the system of concessions for toll motorways in Spain has allowed the Administration to increase its resources and transfer part of the risk associated to the private sector. Given the current situation, in which many concessions are about to cease, it has become interesting to analyse which are the main determinants of demand on tolls in order to be able to discover the sensitivity of their demand. In particular, the case study focuses on the AP-7 North which has been divided into six sections. In order to accomplish this, the creation and subsequent estimation of an econometric model has been proposed, which will be responsible for determining the elasticities of the determinants of the AP-7 North demand. The results show that the most appropriate estimation, in the present study, is a panel dataset for fixed effects. These results confirm that the demand is inelastic with respect to the toll and real GDP per capita, showing elasticity values similar to those obtained in previous studies. In addition, it is shown that an alternative route of similar quality without toll has a significant effect on the sensitivity of the AP-7 North demand.

Índex

Capítol I. Introducció i objectius	5
Capítol II. Marc teòric de les autopistes de peatge.....	7
1.1 Tipologia de vies.....	7
1.2 Les concessions de les autopistes de peatge	8
1.3 El peatge	9
1.3.1 Els orígens del peatge	10
1.3.2 Com es modifica?	10
1.4 Les autopistes de peatge a Espanya	11
1.5 Determinants de la demanda en autopistes de peatge.....	14
Capítol III. Dades i variables	20
2.1 Marc d'actuació	20
2.2 Variables	22
2.3 Anàlisi descriptiva de les variables.....	25
Capítol IV. Modelització	29
3.1 Model.....	29
3.2 Anàlisi economètrica	30
3.2.1 Estimació per Mínims Quadrats Ordinaris (MQO)	30
3.2.2 Estimació amb dades de panell.....	38
Capítol V. Conclusions.....	44
Capítol VI. Bibliografia.....	47

Capítol I. Introducció i objectius

Enguany se celebra el cinquantè aniversari del naixement de la primera autopista de peatge a Espanya, situada a Catalunya entre Montgat i Mataró. Així doncs, ja fa cinquanta anys des que Espanya va decidir acudir al món privat per formalitzar un sistema de concessió per a la construcció i explotació d'aquestes. Bàsicament, es tracta d'un acord entre l'Administració i les entitats privades en el qual l'objecte a cedir és una infraestructura durant un període determinat, en el qual aquestes tindran el dret a obtenir una contraprestació econòmica. D'aquesta manera, es transfereix el cost de la infraestructura a l'usuari que en fa ús i l'Administració aconsegueix augmentar els seus recursos i, al mateix temps, transferir a la societat concessionària una part del risc associat.

Des d'aquell moment inicial, els kilòmetres d'autopistes de peatge a Espanya s'han multiplicat fins a arribar als 3.039 km (Ministeri de Foment, 2017). Aquest fet genera un cert malestar entre els usuaris d'aquestes autopistes, ja que en molts punts sí que es compta amb una via alternativa de qualitat similar gratuïta, però en molts altres és de poca qualitat, o fins i tot inexistent.

Davant aquest contrast, l'objectiu d'aquest treball és estimar la sensibilitat de la demanda en autopistes de peatge respecte als principals factors que la determinen, afrontant el repte d'introduir vies alternatives de qualitat similar gratuïtes. En concret, el cas d'estudi del present treball se situa a Espanya, en la part nord de la coneguda autopista de peatge AP-7 durant el període 2002-2016.

Per realitzar-ho es proposa la creació i la posterior estimació d'un model economètric capaç de reflectir la demanda en les autopistes de peatge; deixant al descobert el seu comportament.

Amb l'objectiu de transmetre i exposar amb claredat la feina realitzada, s'ha estructurat el treball de la forma següent:

1. La primera secció tracta de presentar el tema i proposar els objectius del present treball.
2. La segona secció engloba el marc teòric de les autopistes de peatge. En primer lloc, es fa una breu explicació de la tipologia de vies i concessions. Llavors, es fa inclusió en el peatge i els seus orígens, seguit del cas específic de les autopistes de peatge espanyoles. Per últim, es duu a terme una revisió de la literatura sobre els determinants del trànsit en autopistes de peatge.

3. La tercera secció tracta les dades i les variables escollides en el present treball. De manera que s'introdueix el marc d'actuació corresponent, és a dir, l'AP-7 Nord i, a més a més, se n'estableix una definició per trams juntament amb el criteri sota el qual s'han escollit. També, es presenten les variables que consolidaran el model de demanda d'autopistes proposat juntament amb la seva anàlisi descriptiva.
4. La quarta secció engloba la modelització de la demanda d'autopistes de peatge, des de la presentació del model fins a les metodologies econòmiques emprades amb els seus respectius resultats.

Per últim, volia agrair al Dr. José Ramón García totes les aportacions, els consells i el temps aportat en la realització d'aquest treball. També, destacar el suport de la família, amics i amigues en tot moment. I, sobretot, també agrair a l'experta en el tema Dra. Anna Matas la generositat i les aportacions brindades.

Capítol II. Marc teòric de les autopistes de peatge

Per tal de realitzar l'estudi que proposa el present treball: analitzar la sensibilitat de la demanda en autopistes de peatge respecte als principals factors que la determinen, és essencial presentar els temes més transcendents que engloben les autopistes de peatge, des dels tipus de vies fins als determinants de la seva demanda.

1.1 Tipologia de vies

Avui en dia, les carreteres espanyoles es troben integrades a la xarxa de carreteres de l'Estat i compten amb un total de 165.483 km (Ministeri de Foment, 2016). La titularitat de les carreteres correspon a l'Administració Central, a les Comunitats Autònomes i a les diputacions provincials; quedant distribuïda de la següent manera:

Taula 1: Xarxa de Carreteres d'Espanya

	Autopista de peatge (km)	Autopistes lliures i autovies (km)	Carreteres de doble calçada (km)	Carreteres d'una calçada (km)	TOTAL (km)
Xarxa de Carreteres de l'Estat	2.539	8.910	508	14.438	26.395
Xarxa de les Comunitats Autònomes	329	2907	766	67.289	71.291
Xarxa de les Diputacions	171	587	391	66.648	67.797
TOTAL (km)	3.039	12.404	1.665	148.375	165.483

Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment (2016)

Com es pot veure en la taula 1, la xarxa està composta per diversos tipus de vies i tenint en compte el Real Decret 1812/1994, de 2 de setembre, pel qual s'aprova el Reglament General de Carreteres, una carretera és una via de domini i d'ús públic projectada i construïda fonamentalment per a la circulació de vehicles automòbils, i aquestes es poden classificar de la següent manera:

- **Autopista.** Una autopista és una via especialment dedicada, construïda i senyalitzada per a la circulació d'automòbils, que es caracteritza per:
 - No tenir accés a les propietats confrontants, és a dir, als terrenys o propietats adjuntes.
 - No creuar a nivell cap altra via o línia de ferrocarril o tramvia.
 - Tenir diferents calçades amb un mínim de dos carrils per cada sentit de circulació, separades entre elles, a excepció de punts singulars o de caràcter temporal, per una franja de terreny no destinada a la circulació, denominada mitjana, o en casos excepcionals per altres mitjans.

- **Autovia.** Una autovia és una carretera, que no reunint tots els requisits de l'autopista, es caracteritza per: tenir un accés limitat a les propietats confrontants, és a dir, que requereixen una via de servei; no creuar a nivell cap altra via o línia de ferrocarril o tramvia i tenir calçades diferents per a cada sentit de circulació.
- **Via ràpida.** Una via ràpida és una carretera d'una sola calçada amb una limitació total dels accessos a les propietats confrontants.
- **Carretera convencional.** Una carretera convencional és aquella que no reuneix o compleix totes o algunes de les característiques de les vies esmentades anteriorment.

Per altra banda, no es considera carretera:

- Un camí de servei, és a dir, els construïts com a elements auxiliars o complementaris a les activitats específiques dels seus titulars.
- Un camí construït per les persones privades amb una finalitat semblant als camins de serveis.

1.2 Les concessions de les autopistes de peatge

No es podria seguir aprofundint en la matèria de les autopistes de peatge sense exposar les concessions. Generalment, per a qualsevol mena d'infraestructura, una concessió és una iniciativa privada que té com a voluntat construir i/o conservar i mantenir una infraestructura, a canvi de poder explotar-la de forma privada durant un determinat període de temps. Així doncs, s'estableix una relació entre els diferents agents implicats: l'Administració Pública, la iniciativa privada i els usuaris. L'Administració Pública és la prestadora del servei i l'encarregada de regular el sector, mentre que la iniciativa privada és l'entitat que duu a terme l'explotació i/o l'execució d'una infraestructura existent o de nova creació durant un determinat període de temps. Per últim, l'usuari és el consumidor final i a qui pot ser que se li exigeixi un pagament per l'ús de la infraestructura o, en cas contrari, serà l'Administració Pública qui se'n farà càrrec.

Més específicament, en el món de les autopistes de peatge, una concessió és un acord entre l'Administració Pública i la societat concessionària en el qual l'objecte a prestar, en aquest cas, és el servei d'una infraestructura viària a la societat concessionària en qüestió. Segons la Directiva europea 2014/23/EC hi ha dos tipus de concessions:

1. Concessió de construcció i explotació o també anomenada *greenfield*. Acord en què l'Administració confia la construcció, l'operació i el manteniment d'una infraestructura al llarg del període de la concessió a un o diversos operadors.

2. Concessió d'exploració o també anomenada *brownfield*. Acord en què l'Administració confia la gestió, l'operació i el manteniment d'una infraestructura ja existent al llarg del període de concessió.

1.3 El peatge

Un cop definida la tipologia de vies i les anomenades concessions s'ha decidit centrar l'atenció en les autopistes de peatge, però més concretament, en el peatge. Segons el diccionari de la *Real Academia de la Lengua Española*, es defineix com a “dret de trànsit”, és a dir, com a la quantitat que s'ha de pagar per utilitzar una via, que en aquest cas es tracta d'una autopista.

Aquest peatge, però, no és uniforme entre les diferents autopistes de l'Estat Espanyol: aquest dependrà del contracte estipulat entre l'Administració i la part privada, la societat concessionària (PWC, 2014). Així doncs, hi ha tres mecanismes:

1. **Peatge directe.** Situació en què l'Administració confia la construcció, l'operació i el manteniment de la infraestructura en qüestió a la societat concessionària. En aquest cas, l'empresa és la que realitza el cobrament directament per tal de recuperar els costos de manteniment i d'inversió realitzats.
2. **Peatge indirecte.** Situació en què l'Administració confia la construcció, l'operació i el manteniment de la infraestructura en qüestió a la societat concessionària. En aquest cas, no és l'empresa qui realitza el cobrament, sinó que els usuaris paguen el peatge a l'Administració. Així doncs, l'operador és pagat per l'Administració. Aquest tipus de peatge és l'anomenada vinyeta.
3. **Peatge a l'ombra.** Situació en què l'Administració confia la construcció, l'operació i el manteniment de la infraestructura en qüestió a la societat concessionària. En aquest cas, l'usuari no paga cap peatge, sinó que el “cobrament” per part de la concessionària va a càrrec de l'Administració dependent del trànsit de vehicles.

Pel cas espanyol, les vies de la xarxa de carreteres de l'Estat compten amb dos dels tres mecanismes: el peatge directe i el peatge a l'ombra. Tot i així, Catalunya està apostant perquè es faci possible la implementació d'una vinyeta a les carreteres catalanes, però de moment no s'ha pres cap decisió al respecte. Textualment, Damià Calvet, el Ministre de Territori, ha recordat que es tracta d'un nou sistema de mobilitat intel·ligent i sostenible, socialment i ambientalment, basat en una Directiva europea i en el principi de qui usa i contamina, paga.

1.3.1 Els orígens del peatge

El naixement del mot peatge es remunta a les civilitzacions egípcia i persa. Al llarg dels anys, però, tot i que el seu significat ha anat evolucionant l'essència segueix sent la mateixa. Des de quan el peatge es tractava d'un tribut que havien de pagar les persones al senyor feudal per accedir a la ciutat o travessar un riu a l'Edat Mitjana, fins a l'actual peatge, referent a la quantitat que s'ha de pagar per utilitzar una infraestructura.

És de domini popular el gran finançament que suposa construir, operar i mantenir una infraestructura viària. Així que el peatge va sorgir de la voluntat de voler cobrir aquests alts costos d'inversió. A grans trets, el peatge a Espanya és un mitjà de pagament pel qual una societat concessionària es compromet a la construcció i/o explotació de la infraestructura, obtenint aquesta la facultat de poder cobrar per l'ús de la infraestructura en qüestió; tal com es disposa a l'Art. 14 de la Llei 10/1972, de 10 de maig, sobre la construcció, conservació i explotació de les autopistes de peatge. Aquest peatge dependrà del que s'hagi establert en el contracte entre l'Administració i la societat concessionària al principi de la concessió. En cas contrari, el determina l'Administració pública ajustant-se als principis que corresponguin al dret administratiu, en aquest cas respecte al peatge.

Existeix una gran disjuntiva de cara si el peatge és necessari o no. Per una part, els defensors del peatge consideren que el finançament per part dels usuaris és justificable, ja que la infraestructura és finançada pels mateixos usuaris que la utilitzen. Per altra banda, els partidaris en contra del peatge, defensen que el peatge condiona als usuaris, és a dir, que el fet d'haver de contribuir en el peatge fa que els usuaris es desviïn a altres vies alternatives i que, en molts casos es tracta d'una via de qualitat inferior, essent més alta la probabilitat de patir un accident.

1.3.2 Com es modifica?

El peatge es modifica anualment mitjançant un coeficient de revisió automàtic, el qual s'encarrega d'actualitzar el preu mitjà del peatge de les autopistes. Actualment, la revisió es realitza segons la Llei 14/2001 de 28 de desembre, en el seu article 77, de la forma següent:

$$C_R = 1 + \Delta IPC_{mitjà} - \left[\frac{1}{100} \left(\frac{IMD_R - IMD_P}{IMD_P} \right) \right]$$

Essent la IMD_R la Intensitat Mitjana Diària real dels últims 12 mesos i la IMD_P , la previsió d'aquesta intensitat aprovada per la Delegació del Govern de les Societats Concessionàries. L'IPC s'expressa en tant per u i conservant el seu signe.

1.4 Les autopistes de peatge a Espanya

El naixement de l'anomenada autopista de peatge a Espanya es remunta a l'any 1969. L'autopista en qüestió es tractava de l'A-19, actualment coneguda per C-32, i era l'encarregada d'enllaçar Montgat amb Mataró a Catalunya. Cinquanta anys després, les autopistes de peatge es troben integrades a la xarxa de carreteres de l'Estat i compten amb un total de 3.039 km. A continuació es presenta una taula que conté la longitud de les autopistes distribuïda per Comunitats Autònomes.

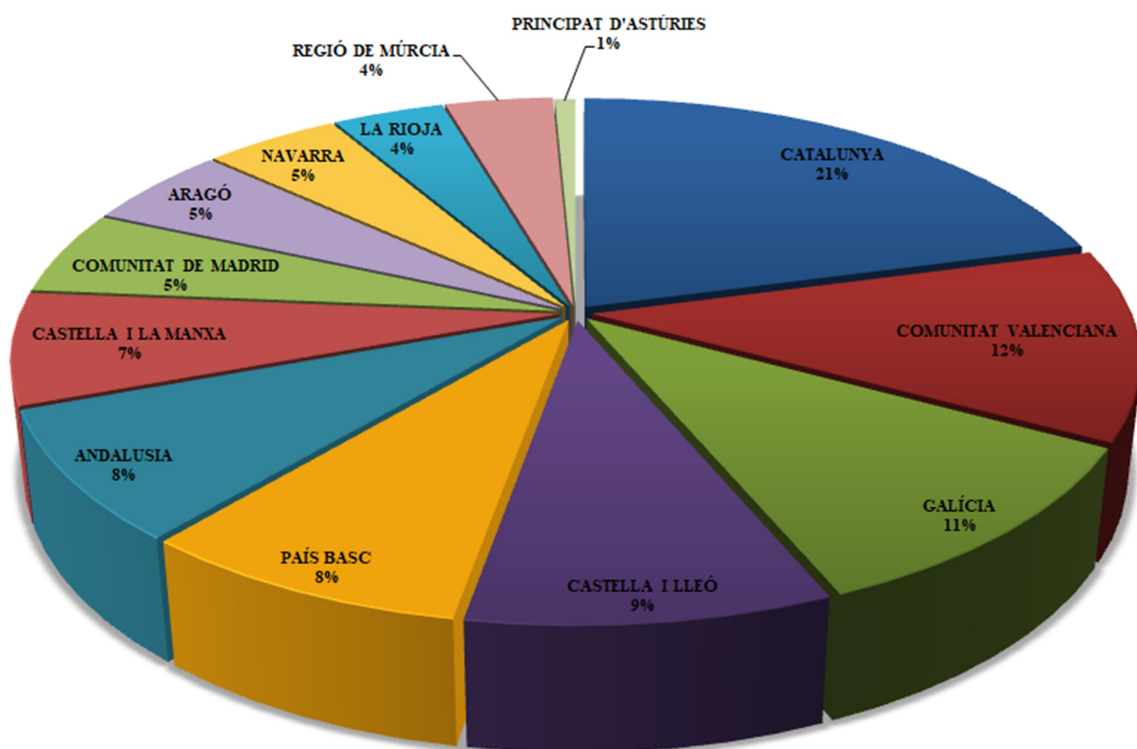
Taula 2: Autopistes de peatge per CCAA

	Comunitat Autònoma	Longitud (km)	Percentatge
1	CATALUNYA	633	20,83%
2	COMUNITAT VALENCIANA	367	12,08%
3	GALÍCIA	327	10,76%
4	CASTELLA I LLEÓ	277	9,11%
5	PAÍS BASC	254	8,36%
6	ANDALUSIA	249	8,19%
7	CASTELLA I LA MANXA	214	7,04%
8	COMUNITAT DE MADRID	161	5,30%
9	ARAGÓ	157	5,17%
10	NAVARRA	144	4,74%
11	LA RIOJA	119	3,92%
12	REGIÓ DE MÚRCIA	115	3,78%
13	PRINCIPAT D'ASTÚRIES	22	0,72%
14	CANÀRIES	0	0,00%
15	CANTÀBRIA	0	0,00%
16	CEUTA I MELILLA	0	0,00%
17	EXTREMADURA	0	0,00%
18	ILLES BALEARS	0	0,00%
	TOTAL	3039	100,00%

Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment (2016)

La taula 2 mostra com es distribueixen els kilòmetres d'autopistes de peatge de la xarxa de carreteres de l'Estat per les diverses Comunitats Autònomes de l'Estat Espanyol juntament amb els seus percentatges. En aquest cas, destaca el fet que les primeres 4 Comunitats Autònomes ja concentren el 50% del total de kilòmetres de les autopistes de peatge, concretament representen el 52,78% del total. Entre elles es troben, en el següent ordre: Catalunya, la Comunitat Valenciana, Galícia i Castella i Lleó. Per tal de mostrar d'una forma més clara la present comparativa entre les CCAA a continuació es mostra un gràfic circular.

Gràfic 1: Percentatge de longitud que representa cada CCAA



Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment (2016)

En aquest cas, s'ha decidit no incloure en el gràfic les Comunitats Autònomes que no compten amb kilòmetres d'autopista de peatge. En concret, les Comunitats Autònomes en qüestió són: Canàries, Cantàbria, Ceuta i Melilla, Extremadura i les Illes Balears.

Per altra banda, també s'ha trobat interessant veure la distribució de les autopistes de peatge per societats concessionàries.

Taula 3: Autopistes de peatge societats concessionàries espanyoles

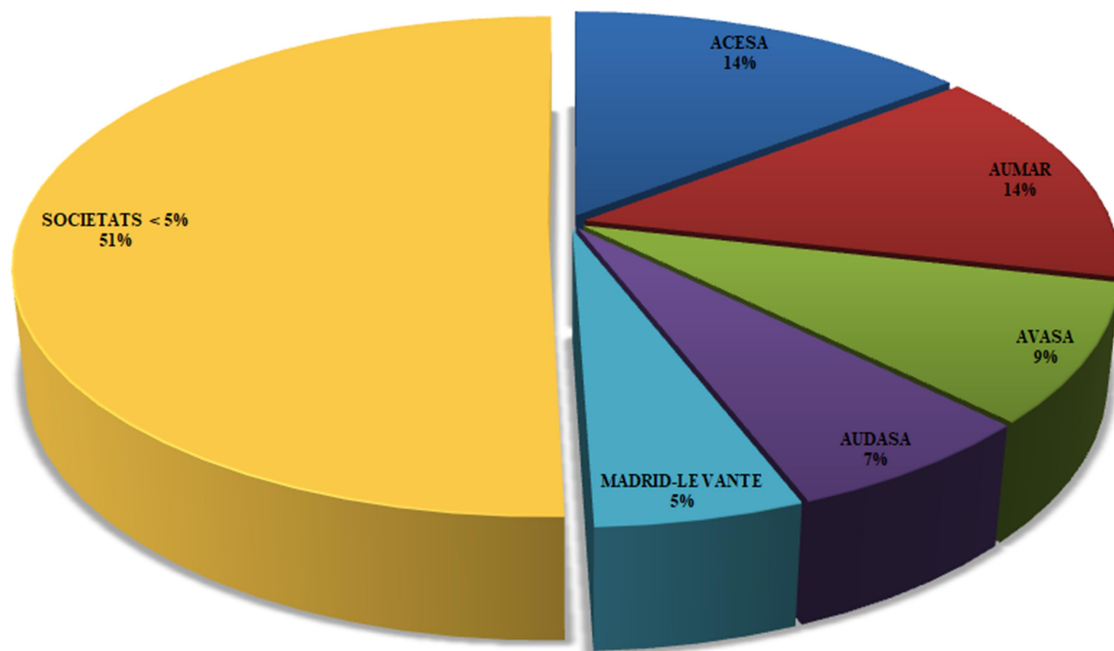
	SOCIETAT CONCESSIONÀRIA	LONGITUD (KM)	PERCENTATGE
1	ACESA	478,3	14,5%
2	AUMAR	467,6	14,1%
3	AVASA	294,4	8,9%
4	AUDASA	218,9	6,6%
5	MADRID-LEVANTE	177,0	5,4%
6	BIDEGI	123,2	3,7%
7	AUCOSTA	114,0	3,4%
8	AUDENASA	112,6	3,4%
9	AUSOL	102,2	3,1%
10	MADRID SUR	99,1	3,0%
11	AM	91,5	2,8%
12	AUCALSA	86,8	2,6%
13	HENARSA	85,5	2,6%
14	AP-1 EUROPISTAS	84,3	2,5%
15	MADRID-TOLEDO	81,0	2,4%
16	AUSUR	76,6	2,3%
17	IBERPISTAS	69,6	2,1%
18	INVICAT	66,5	2,0%
19	AUTOESTRADAS	57,8	1,7%
20	ACEGA	56,6	1,7%
21	AUCAT	56,3	1,7%
22	CIRALSA	53,5	1,6%
23	CASTELLANA	50,8	1,5%
24	TÚNELS DE BARCELONA I CADÍ	46,4	1,4%
25	AUTEMA	43,1	1,3%
26	INTERBIAK	39,2	1,2%
27	AULESA	38,0	1,1%
28	GUADALCESA	24,5	0,7%
29	EJE AEROPUERTO	8,8	0,3%
30	TÚNEL DE SÓLLER	3,0	0,1%
	TOTAL	3307,0	100,0%

Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment (2016)

La taula 3 presenta un recull de la longitud de les autopistes de peatge de la xarxa de carreteres d'Espanya en explotació per societat concessionària, juntament amb els seus respectius percentatges. En aquest cas, es veu com el total de kilòmetres ascendeix a 3.307 km, a diferència dels 3.039 km esmentats anteriorment, això es deu al fet que Espanya compta amb trams de peatge directe per a l'usuari i amb trams de peatge a

l'ombra, de manera que en aquesta ocasió s'han inclòs també els de peatge a l'ombra. Com es pot veure, les autopistes de peatge de l'Estat són propietat d'un total de 30 societats concessionàries (Ministeri de Foment, 2016), però, el que crida més l'atenció és que només amb les 5 primeres societats concessionàries ja es concentra aproximadament el 50% del total de kilòmetres de les autopistes de peatge. Les societats concessionàries en qüestió són: Acesa, Aumar, Avasa, Audasa i Madrid-Levante. Seguidament, per mostrar-ho d'una forma més clara es mostra un gràfic circular per tal de permetre una comparació gràfica. Per això, s'ha decidit unir les societats concessionàries que presenten menys d'un 5% del total de kilòmetres d'autopistes de peatge.

Gràfic 2: Percentatge de longitud d'autopistes de peatge que representa cada CCAA



Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment (2016)

1.5 Determinants de la demanda en autopistes de peatge

Per tal de poder definir la demanda dels consumidors és essencial determinar quins són els paràmetres claus que determinen el seu comportament. Al llarg dels anys hi ha hagut diversos autors que han abordat aquest tema, però l'actual apartat se centra a presentar i analitzar els estudis considerats rellevants pel present treball i que, a més a més, aportin

una evidència respecte a la sensibilitat de la demanda en autopistes de peatge. Malauradament, els estudis que presenten aquestes característiques són escassos, i molt heterogenis entre ells.

Tanmateix, hi ha diversos estudis que presenten les característiques específiques tot i no ser molt recents: els presentats per l'Anna Matas amb la col·laboració de l'Adriana Karina Ruiz (2009), i del Josep Lluís Raymond (2003). Aquests estudis proposen un model de demanda amb un enfocament agregat, de manera que el transport s'expressa en funció de les seves pròpies característiques i de les alternatives, amb l'objectiu d'estimar l'elasticitat de la demanda de les principals variables que determinen el comportament dels usuaris de les autopistes de peatge. Així doncs, presenten la demanda de les autopistes de peatge de la següent manera:

$$vol_{it} = f(\tau_{it}, cmon_{it}^{al}, ctiem_{it}^{au}, ctiem_{it}^{al} Z_{it}, C_{it}^{au}, C_{it}^{al})$$

On au= autopista i al= alternativa; el subíndex i representa el tram de l'autopista (i=1,...,N) i el subíndex t expressa el període (t= 1, ..., T).

- **Vol_{it}** expressa el volum de trànsit del tram de l'autopista i en el període t;
- **T_{it}** representa la tarifa del peatge en el tram i durant el període t;
- **Cmon_{it}ⁱ** expressa el cost monetari d'escollir una alternativa diferent de la del peatge del tram i en el període t (costos operatius per l'ús del vehicle);
- **Ctiem_{it}ⁱ** expressa el cost del temps que suposa utilitzar la infraestructura del tram i en el període t;
- **Z_{it}** representa les característiques socioeconòmiques que influeixen en els desplaçaments (població, taxa d'atur, PIB real);
- **C_{it}** representa els indicadors de qualitat de la infraestructura del tram i en el període t (nombre d'accidents, diferència de temps entre l'autopista i la via alternativa).

En resum, es presenten com a determinants de la demanda d'autopistes de peatge: el peatge, el cost monetari d'escollir una alternativa, el cost del temps del desplaçament, les característiques socioeconòmiques que influeixen en els mateixos desplaçaments i la qualitat de la infraestructura.

A continuació s'ha dut a terme una revisió de la literatura sobre la sensibilitat dels determinants utilitzats en els estudis esmentats, utilitzant com a mesura l'elasticitat-preu de la demanda. Abans, però, és necessari definir el concepte d'elasticitat de la demanda d'autopistes de peatge. Així doncs, s'entén com a aquella mesura utilitzada per mostrar el grau de sensibilitat dels consumidors d'aquestes respecte als canvis en les variables que es volen estudiar.

Essent la seva interpretació:

- Quan $0 < |\epsilon_{au}| < 1$, l'elasticitat de la demanda es considera inelàstica o relativament inelàstica, és a dir, la quantitat demandada de les autopistes de peatge varia menys que proporcionalment als canvis en la variable corresponent.
- Quan $|\epsilon_{au}| = 1$, l'elasticitat de la demanda es considera unitària, és a dir, la quantitat demandada de les autopistes de peatge varia proporcionalment als canvis en la variable corresponent.
- Quan $|\epsilon_{au}| > 1$, l'elasticitat de la demanda es considera elàstica o relativament elàstica, és a dir, la quantitat demandada de les autopistes de peatge varia més que proporcionalment als canvis en la variable corresponent.

En primer lloc, es tracta l'elasticitat de la demanda respecte al **peatge**, és a dir, aquella mesura utilitzada per mostrar el grau de sensibilitat dels consumidors d'aquestes respecte als canvis en la tarifa del peatge. A continuació es mostra un recull dels resultats obtinguts per part dels diversos autors i es fa evident l'escassetat d'estudis recents i, també de l'heterogeneïtat dels estudis presentats. Segons Matas i Raymond (2003) i Odeck i Brathen (2008) això es deu al fet que arreu del món hi ha poques autopistes de peatge, i que per això els estudis en aquesta matèria es refereixen a llocs puntuals.

Taula 4: Recull d'elasticitats de la demanda de les autopistes de peatge respecte el peatge

Autors	Resultats*	Context
Weustefeld & Regan (1981)	Entre -0,03 i -0,31	Compta amb 16 obres d'infraestructures que cobren un peatge als Estats Units. Comenta que el valor de l'elasticitat depèn del motiu, de la llargada i de la freqüència del viatge
Goodwin (1988), citat a May (1992)	Valor mitjà: -0,45	Comenta que la demanda resulta ser més sensible als canvis en la tarifa del peatge quan l'autopista disposa d'una via alternativa gratuïta d'alta qualitat
Ribas, Raymond & Matas (1988)	Entre -0,15 i -0,48	Tres autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats són significatius
Jones & Hervik (1992)	Valor mitjà Oslo: -0,22 Valor mitjà Alesund: -0,45	Peatges en vies de circumval·lació a Noruega
Harvey (1994)	Valor mitjà: -0,1	Autopista de peatge Everett a New Hampshire, Estats Units
Mauchan & Bonsall (1995)	Valor mitjà: -0,4	Autopistes urbanes i interurbanes de West Yorkshire, Regne Unit

INRETS (1997), citat a TRACE Consortium (1998)	Entre - 0,22 i - 0,35	Autopistes franceses per viatges superiors a 100 km
UTM (2000)	Valor mitjà: - 0,20	Autopista de peatge New Jersey, Estats Units
Matas & Raymond (2003)	CT: entre - 0,21 i - 0,83 LT: entre - 0,33 i - 1,31	Autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats de l'estimació són significatius
Asensio & Matas (2005)	CT: entre - 0,13 i -0,21 LT: entre - 0,23 i -0,34	Autopistes urbanes a Barcelona, Espanya. Mitjançant un model lògit on els resultats de l'estimació són pràcticament significatius
Álvarez, Cantos & Garcia (2007)	Valor mitjà: - 0,54	Radials de Madrid, Espanya
Odeck & Brathan (2008)	Valor mitjà CT: - 0,54 Valor mitjà LT: - 0,82	Compta amb 19 autopistes de Noruega. Els resultats mostren una actitud favorable dels usuaris quan saben amb què s'utilitzen els diners recaptats

Font: Elaboració a partir de Matas i Ruiz (2009)

*Nota: CT → curt termini; LT → llarg termini

A grans trets es pot observar que a la taula 4 els valors són negatius, és a dir, que s'ajusten a la Llei de la Demanda¹. També, que el rang dels valors de l'elasticitat oscil·la entre -0,83 i -0,03 en el curt termini, i entre - 1,31 i - 0,15 en el llarg termini. Majoritàriament, però, es podria dir que la demanda respecte al peatge és relativament inelàstica, ja que $0 < |\epsilon_{au}| < 1$, és a dir, que la quantitat demandada de les autopistes de peatge varia menys que proporcionalment als canvis en el preu del peatge.

En segon lloc, es tracta l'elasticitat de la demanda respecte al **preu del combustible**, és a dir, aquella mesura utilitzada per mostrar el grau de sensibilitat dels consumidors d'aquestes respecte als canvis en el preu del combustible. En la següent taula es presenta un recull dels resultats obtinguts en els següents estudis.

Taula 5: Recull d'elasticitats de la demanda de les autopistes de peatge respecte el preu del combustible

Autors	Resultats*	Context
Ribas, Raymond & Matas (1988)	CT: -0,337 LT: -0,531	Tres autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats són significatius
Dargay & Goodwin (1995)	CT: -0,20 LT: -0,60	Model dinàmic basat en sèries temporals
Johannson & Shipper (1997)	LT: -0,30	Dades per a 12 països de l'OCDE entre el 1973 i el 1992

¹ Estableix que existeix una relació negativa entre la quantitat demandada d'un bé o servei i el seu preu. Tot i així, hi ha varies excepcions en les quals la relació és positiva: béns Giffen i Veblen.

Matas & Raymond (2003)	CT: -0.34 LT: -0.53	Autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats de l'estimació són significatius
Graham & Glaister (2004) Goodwin, Dargay & Hanly (2004)	CT: -0.10 LT: -0.30	Revisió de la literatura
Basso & Oum (2008)	CT: entre -0.2 y -0.3 LT: entre -0.6 y -0.8	Revisió de la literatura
Matas & Ruiz (2009)	CT: -0.25 LT: -0.45	Autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats són significatius

Font: Elaboració a partir de Matas i Ruiz (2009)

*Nota: CT → curt termini; LT → llarg termini

En aquest cas, en la taula 5 es pot observar que els valors són negatius, és a dir, que la relació entre la quantitat demandada del bé o servei i el seu preu és inversa. El rang oscil·la entre $-0,3$ i $-0,1$ en el curt termini, i entre $-0,8$ i $-0,3$ en el llarg termini. D'aquesta manera, es podria dir que la demanda respecte al preu del combustible és relativament inelàstica, ja que $0 < |\epsilon_{au}| < 1$, és a dir, que la quantitat demandada de les autopistes de peatge varia menys que proporcionalment als canvis en el preu del combustible.

Per últim, es presenta l'elasticitat de la demanda respecte a l'**ingrés**, és a dir, aquella mesura utilitzada per mostrar el grau de sensibilitat dels consumidors d'aquestes respecte als canvis en l'ingrés. En l'actual taula es presenta un recull dels resultats obtinguts en els següents estudis.

Taula 6: Recull d'elasticitats de la demanda de les autopistes de peatge respecte l'ingrés

Autors	Resultats*	Context
Dahl & Frazen (1992)	CT: entre 0.39 y 0.52 LT: entre 1.16 y 1.32	Revisió de la literatura
Espey (1998)	Valor mitjà CT: 0.39 Valor mitjà LT: 0.81	Meta-anàlisi internacional d'elasticitats
Matas & Raymond (2003)	CT: 0.89 LT: 1.40	Autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats són significatius
Matas & Ruiz (2009)	CT: 0,62 LT: 1,12	Autopistes interurbanes a Espanya mitjançant l'estimació amb dades de panell, en la qual els resultats són significatius

Busquets (2016)	1,19	Autopistes urbanes i interurbanes a Espanya. S'ha calculat mitjançant la fórmula: $\% \Delta \text{IMD}_t / \% \Delta \text{PIB}_t$; utilitzant les dades del període 1994-2007, de manera que no es consideren els anys on s'han produït grans increments o decrements
------------------------	------	--

Font: Elaboració a partir de Matas i Ruiz (2009)

*Nota: CT → curt termini; LT → llarg termini

En la taula 6 es pot veure que els valors de les elasticitats són positius, és a dir, que hi ha una relació positiva entre la quantitat d'un bé o servei i el seu preu. També, que el rang oscil·la entre 0,39 i 0,89 en el curt termini; i entre 0,81 i 1,40 en el llarg termini. En aquest cas, no és possible precisar quin tipus d'elasticitat presenta i probablement es deu a l'escassetat i a les grans diferències entre les característiques dels treballs presentats.

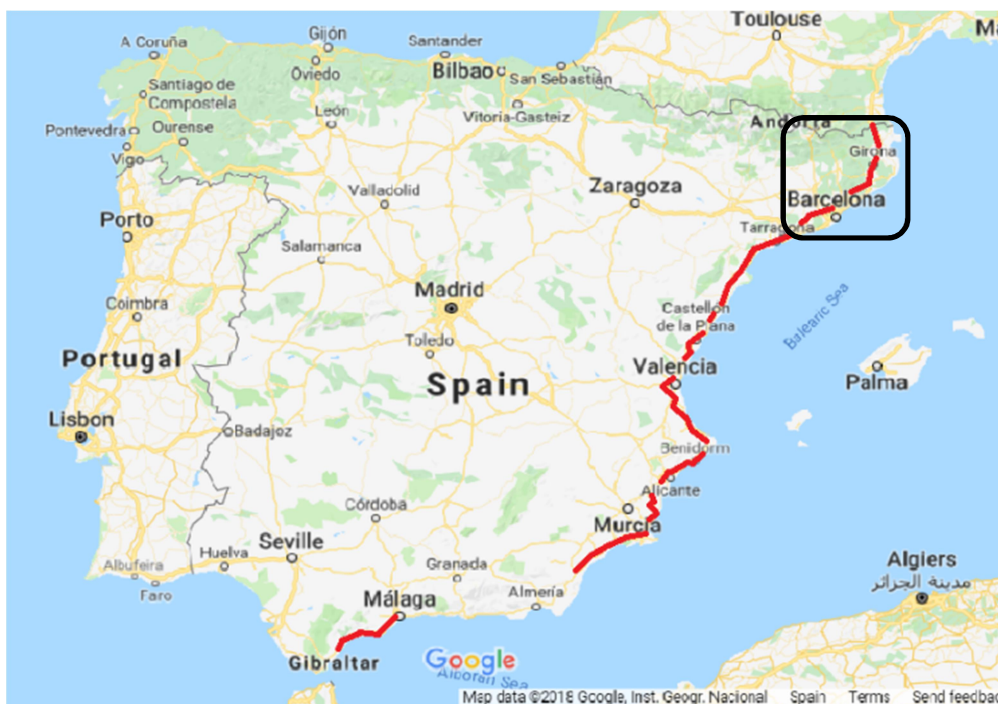
Capítol III. Dades i variables

Un cop definit el marc teòric de les autopistes de peatge, es presenta el marc d'actuació i les variables que formalitzaran el model de demanda d'autopistes de peatge proposat en el present treball. A més a més, s'ha intentat afrontar un dels principals reptes que suposava el model: la introducció de les vies alternatives.

2.1 Marc d'actuació

El marc d'actuació se situa a Espanya durant el període 2002 - 2016, però més concretament a la part est d'Espanya amb l'anomenada autopista AP-7, o també coneguda com a Autopista Mediterrània, ja que comunica tota la Costa Mediterrània en dues seccions: la primera des de la frontera entre Espanya i França fins a Vera, i la segona des de Màlaga fins a Guadiaro. Es tracta efectivament d'una de les vies més llargues d'Espanya assolint un total de 945 km aproximadament. Justament és degut a la seva gran dimensió i a la dificultat per trobar dades, que en el present treball s'ha decidit centrar l'estudi en l'**AP-7 Nord**, és a dir, des de la frontera entre Espanya i França, a La Jonquera, fins a Tarragona. En el següent mapa es mostra l'AP-7 i s'ha assenyalat la restricció emprada en el present treball, l'AP-7 Nord.

Mapa 1: AP-7



Font: Elaboració pròpia a partir de Google Maps

L'AP-7 Nord, compta amb un total de 242 kilòmetres aproximadament i és gestionada per la societat concessionària espanyola Acesa, pertanyent al grup Abertis. El fet que l'autopista disposi de trams amb peatge i de trams lliures de peatge, que compti amb vies alternatives i que, a més a més, hi hagi heterogeneïtat pel que fa al trànsit al llarg de la via, fan que per tal de poder analitzar correctament la sensibilitat dels usuaris de les autopistes de peatge es plantegi una divisió de l'AP-7 Nord en 6 trams. Aquesta divisió es basa en el fet que cada tram s'ha de poder comparar amb una via alternativa gratuïta paral·lela a l'autopista, mantenint les mateixes prestacions en el tram definit. La seva definició ha sigut possible gràcies a aplicacions virtuals que posen a la disposició dels usuaris mapes desplaçables, imatges, etc. però fonamentalment permeten la definició de rutes. Aquest aspecte ha permès mostrar d'una forma més clara i àgil el recorregut de l'AP-7 pel territori i així, poder traçar els trams d'una forma més acurada. En la definició dels trams també s'ha tingut en compte la proximitat a les grans ciutats, ja que les externalitats que generen són molt més notables.

D'aquesta manera, a continuació es presenta una taula amb els 6 trams resultants juntament amb la seva alternativa de qualitat similar gratuïta.

TAULA 7: Tramificació definida per a les autopistes i vies alternatives d'estudi

	TRAM	VIA ALTERNATIVA
1	La Jonquera – Girona Nord	N-II
2	Girona Nord – Girona Sud	N-II
3	Girona Sud – Massanet de la Selva	A-2
4	Massanet de la Selva – Granollers	C-35
5	Granollers – el Papiol	C-17/B-20/B-23
6	El Papiol – Tarragona Est	N-340

Font: Elaboració pròpia

En concret, el primer tram, de La Jonquera a Girona Nord, compta amb un total de 54,7 km i té com a alternativa la N-II de 55,8 km. El segon tram, de Girona Nord a Girona sud, compta amb un total de 16,50 km i també té com a alternativa la N-II de 19,90 km. Per tant, l'usuari podria realitzar el trajecte de La Jonquera fins a Girona Sud per l'AP-7 o per la N-II. El tercer tram, de Girona Sud a Massanet de la Selva, compta amb 17,3 km i té com a via alternativa l'autovia A-2 de 16,9 km. El quart tram, de Massanet de la Selva a Granollers, compta amb 44,4 km i té com a via alternativa l'autovia C-35 de 47,4 km. El cinquè tram, de Granollers al Papiol, compta amb 35,2 km i té tres vies alternatives d'aproximadament 50 km: les autovies C-17, B-20 i B-23. El sisè tram, del Papiol a Tarragona Est, compta amb 74,20 km i té com a via alternativa la N-340 de 75,30 km. A continuació es mostra de manera gràfica la situació dels trams esmentats.

Mapa 2: Conjunt de trams proposats



Font: Elaboració pròpia a partir de Google Maps

2.2 Variables

Les dades utilitzades en el present treball no es troben directament disponibles en cap font, sinó que prèviament ha calgut realitzar un treball de construcció de dades explicat a continuació. Abans d'introduir-les, però, cal comentar que en el present treball s'ha decidit centrar l'estudi en els vehicles lleugers.

En primer lloc, per tal d'expressar el volum de trànsit s'ha escollit la **Intensitat Mitjana Diària (IMD)** dels vehicles lleugers, que s'interpreta com al nombre total de vehicles que circulen en un tram durant un dia mitjà. Les dades s'han obtingut a través dels mapes de trànsit publicats pel Ministeri de Foment. El detall dels mapes ha fet possible la definició dels trams i el càlcul de la IMD per cada un d'ells mitjançant una mitjana. Per exemple, el càlcul de la variable pel tram entre Massanet de la Selva i Granollers l'any 2016 s'ha realitzat a partir del següent mapa:

Mapa 3: IMD del tram Massanet de la Selva - Granollers



D'aquesta manera, es pot veure que l'AP-7 és la carretera que travessa transversalment el fragment de mapa aportat, essent la que més ressalta. Els quadrats representats de color blau representen els trams amb peatge mentre que els de color taronja i verd representen els trams sense peatge. Així que es pot comprovar que els que pertanyen a l'AP-7 són de color blau. En aquests quadrats, és on es troba la IMD, la variable que ens interessa. Un cop localitzada l'AP-7 i compresa la llegenda, es mira exactament on comença i on acaba el tram definit. En aquest cas, compren la zona assenyalada. A continuació, s'obté la IMD del tram calculant la mitjana dels valors de la IMD de cada un dels quadres blaus compresos en el tram definit. Pel cas d'exemple, la IMD obtinguda és de 64.592 veh/dia.

Aquest càlcul comprèn tant els vehicles lleugers com els vehicles pesants. Per tant, per poder distingir-ne els lleugers s'ha utilitzat el percentatge de vehicles pesants donat pel mateix Ministeri de Foment anualment. D'aquesta manera, mitjançant el percentatge de vehicles pesants podem obtenir el dels lleugers per així, finalment, aconseguir la variable desitjada. En el cas d'exemple, el percentatge de vehicles pesants és de 22,73%, així que els vehicles lleugers representen el 77,27% restant. Per tant, aplicant el 77,27% sobre els 64.592 s'obté la IMD final desitjada: 49910,24 veh/dia.

La variable **peatge** representa la quantitat que s'ha de pagar per utilitzar una autopista. En aquest cas, el present treball se centra en el peatge dels vehicles lleugers i s'expressa en euros el quilòmetre. S'ha calculat dividint la tarifa proposada anualment dels vehicles lleugers pel nombre de quilòmetres de cada tram. Un cop obtingudes les dades, s'han deflactat les dades utilitzant l'IPC (any base 2016). La informació bàsica s'ha obtingut a través dels informes de trànsit i de les sèries de monogràfics, ambdós

publicats anualment pel Ministeri de Foment. Amb aquesta informació no era possible poder completar les dades necessàries, ja que tots els anys no estaven disponibles. Per tant, la següent tasca va consistir a buscar i contactar fonts fiables coneixents de la informació restant, podent així aconseguir completar els anys que faltaven per completar la variable.

De cara el cost operatiu triat per expressar el cost monetari d'escollir una via alternativa diferent de l'autopista de peatge, s'ha escollit el **preu del combustible**. Per crear la variable s'han considerat els preus mitjans corresponents de gasolina i dièsel a Catalunya. A través del Ministeri d'Indústria, Comerç i Turisme s'han obtingut les dades en forma de sèries mensuals i mesurades amb cèntims per litre. Les dades anuals s'han obtingut a partir de la mitjana de cada any i s'han canviat les unitats a euros per litre. Com el que interessava era obtenir el preu del combustible dels vehicles lleugers, s'ha buscat el parc de vehicles de Catalunya, en aquest cas proporcionat per RACC. Aquest distingia, a més a més de per tipus de vehicle, el tipus de carburant (gasolina, dièsel). D'aquesta manera, s'han pogut obtenir els percentatges corresponents de vehicles lleugers per tipus de carburant. Un cop realitzat el càlcul, s'han deflactat les dades utilitzant l'IPC (any base 2016).

El **PIB per càpita** ha sigut la variable triada com a la característica socioeconòmica influent en els desplaçaments dels usuaris. Les dades utilitzades corresponen a Catalunya i venen donades amb euros corrents. Posteriorment, s'han deflactat utilitzant l'IPC (any base 2016). Les dades s'han obtingut de l'IDESCAT.

A més a més, s'ha afegit la variable **distància a Barcelona**, mesurada amb kilòmetres. S'ha creat la present variable perquè s'ha considerat que la proximitat a Barcelona té un important efecte en el trànsit. Així que s'ha calculat la distància des de Barcelona (41.3851° N, 2.1734° E) fins al punt més pròxim a aquesta de cada tram. Les dades s'han obtingut a partir de l'aplicació virtual Google Maps.

Per últim, com a indicadors de qualitat de la infraestructura s'ha decidit treballar amb diverses **variables fictícies**. El criteri de selecció s'ha basat a buscar els fenòmens que puguin tenir un possible efecte sobre l'AP-7 Nord durant el període temporal escollit en el present treball, és a dir, del 2002 al 2016. De fet, s'ha buscat l'any de construcció de les vies alternatives. D'aquesta manera, es proposa l'obertura del tram A-2 entre Caldes de Malavella i Fornells de la Selva l'any 2008, la via alternativa escollida pel tram entre Girona Sud i Massanet de la Selva. En aquest cas, els valors de la variable canviaran de 0 a 1 a partir del 2008. Aquesta informació ha estat proporcionada pel Ministeri de Foment i per la mateixa concessionària.

Finalment, la variable fictícia juntament amb la tramificació proposada en l'anterior apartat ha ajudat a afrontar el repte d'intentar introduir vies alternatives de qualitat similar gratuïtes en el model.

2.3 Anàlisi descriptiva de les variables

En aquest apartat es farà una anàlisi descriptiva de les principals variables del model de demanda de les autopistes de peatge. Així que en primer lloc es presenta una taula resum dels principals estadístics de les variables, per tal de poder procedir a analitzar cada variable.

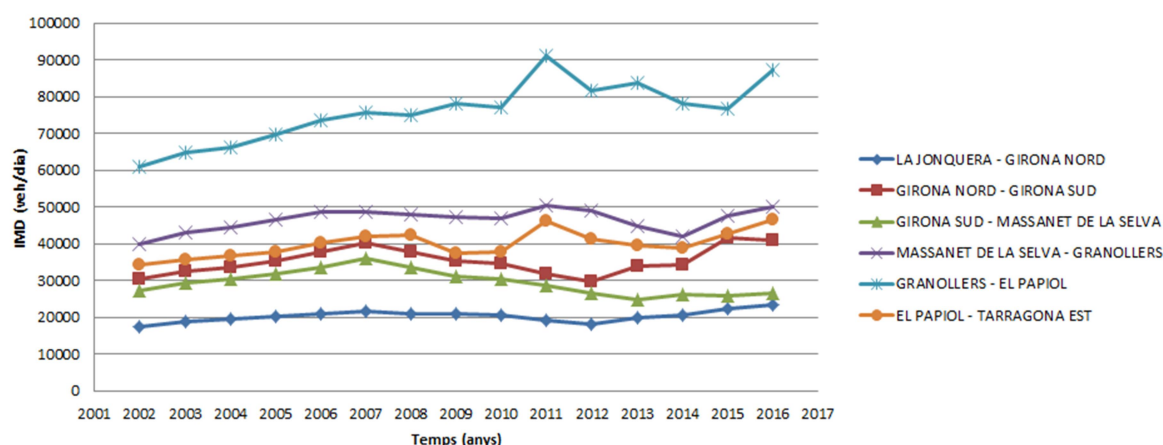
Taula 7: Resum estadístic de les variables

	IMD (veh/dia)	PEATGE (€/km)	COMBUST (€/l)	PIBPC (€)
Mitjana	41294,00	0,064	1,209	30724,00
Mediana	37780,00	0,088	1,187	30938,00
Valor mínim	17609,00	0,000	1,043	27094,00
Valor màxim	91087,00	0,114	1,432	34324,00
Desviació típica	18153,00	0,046	0,123	2178,100
Coefficient de variació	0,439600	0,720	0,102	0,070892

Font: Elaboració pròpia

En primer lloc, es pot veure que les dades referents a la **Intensitat Mitjana Diària (IMD)** mostren grans diferències entre els trams presentats, tal com reflecteix la desviació típica i el coeficient de variació, assolint un coeficient de 0,4396 punts. A grans trets, el valor mínim és de 17.609,00 veh/dia i s'assoleix al tram entre La Jonquera i Girona Nord, mentre que el seu valor màxim és de 91.087,00 veh/dia i s'assoleix al tram entre Granollers i el Papiol. Així doncs, la seva mitjana se situa a 41.294,00 veh/dia.

Gràfic 3: Evolució de la IMD

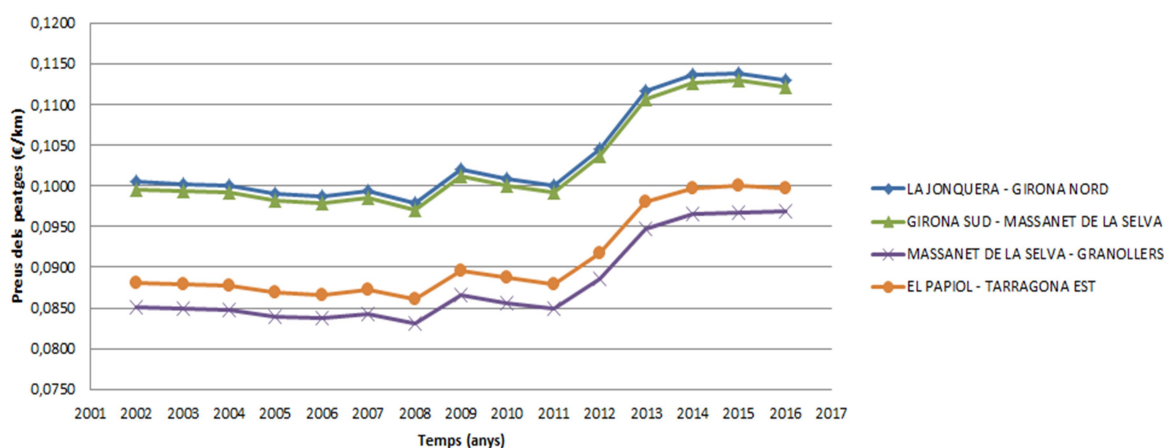


Font: Elaboració propia a partir del Ministeri de Foment

Al gràfic 3 es pot observar una tendència creixent en tots els trams fins al 2007, probablement relacionat amb l'època d'expansió que vivia el país. A partir del 2008, amb la inevitable arribada de la crisi econòmica, els diferents trams van prendre trajectòries diferents. Per exemple, podem veure que el tram Girona Sud – Massanet de la Selva presenta una notable disminució, probablement deguda a l'obertura del tram A-2 Caldes de Malavella – Fornells de la Selva. També experimenta una disminució el tram Papiol – Tarragona Est, possiblement per la posada en servei de l'AVE Tarragona – Barcelona. Aquest tram, però, presenta un pic significatiu l'any 2011, juntament amb el tram entre Granollers i el Papiol; probablement relacionat amb les obres que es van dur a terme a l'N-340, ja que desviaven els vehicles cap a altres vies com l'AP-7. Posteriorment, disminueixen, possiblement per l'obertura del tram A-7 entre Altafulla i Salou. La resta de trams presenten una trajectòria més o menys estable.

En segon lloc, les dades referents al **peatge** mostren una gran variabilitat degut a les grans diferències entre els peatges dels trams estudiats, assolint el coeficient de variació més alt de totes les variables presentades, en concret de 0,72. A grans trets, el seu valor mínim és de 0 €/km, mentre que el seu valor màxim és de 0,114 €/km assolit al tram entre La Jonquera i Girona Nord, i la seva mitjana se situa a 0,064 €/km. De fet, com el seu valor mínim indica, hi ha trams que són lliures de peatge, com és el cas del tram entre Girona Nord i Girona Sud i del tram entre Granollers i el Papiol, que per aquesta raó s'ha decidit no representar-los en el següent gràfic.

Gràfic 4: Evolució del preu del peatge

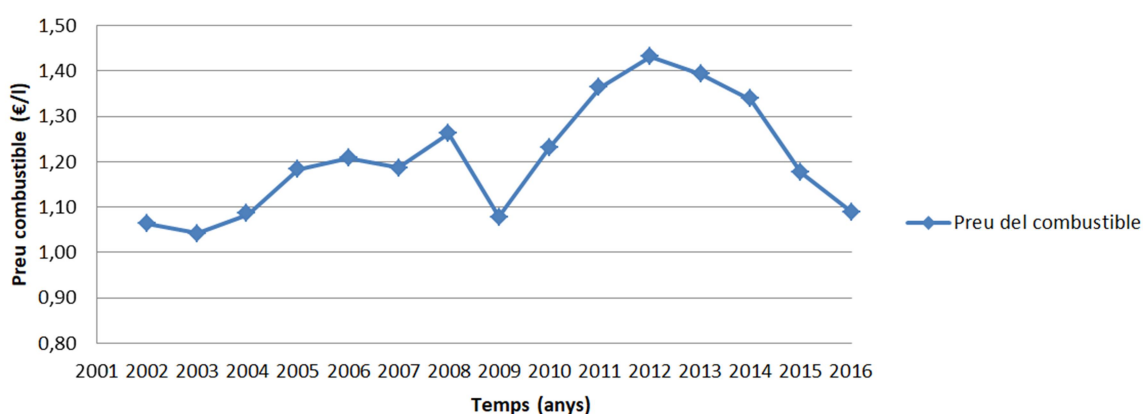


Font: Elaboració pròpia a partir del Ministeri de Foment i fons de la mateixa concessionària

En el gràfic 4, es pot observar que fonamentalment els preus dels peatges de l'AP-7 Nord mostren una tendència creixent. Els preus dels peatges s'actualitzen amb el coeficient presentat en l'apartat 1.3.2, en el marc teòric. D'aquesta manera, se sap que el peatge està estrictament relacionat amb la IMD, per això el perquè de les variacions en els trams representats.

En tercer lloc, les dades referents al **preu del combustible** mostren una variabilitat baixa de la variable, tal com es reflecteix a la desviació típica i al coeficient de variació. A grans trets, el seu valor mínim és d'1,043 €/l, mentre que el seu valor màxim és 1,43240 €/l i la seva mitjana se situa a 1,209 €/l.

Gràfic 5: Evolució del preu del combustible

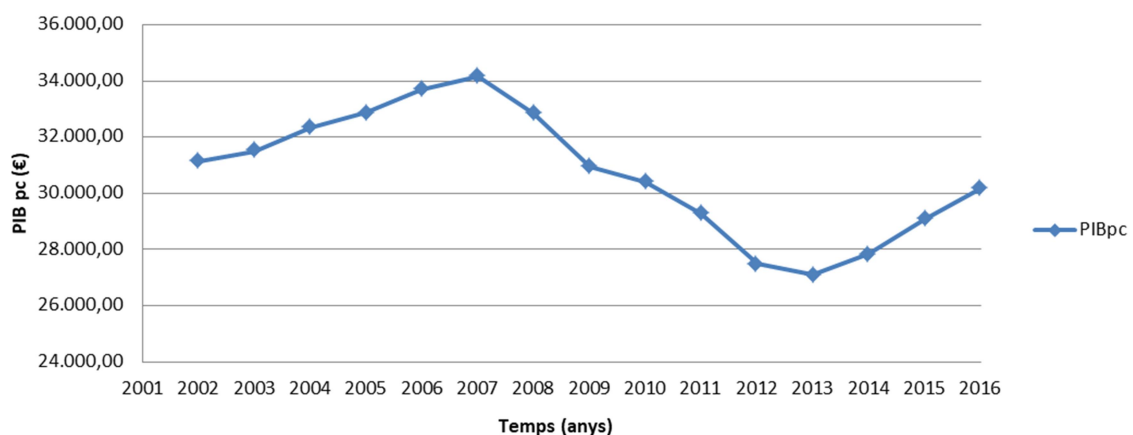


Font: Elaboració pròpia a partir del Mincotur

En el gràfic 5 es pot veure que fins al 2008, en ple esclat de la crisi econòmica, el preu del combustible s'havia mantingut relativament estable. A partir d'aquí, una forta disminució de la demanda d'aquests va desencadenar un fort descens, passant de 1,26 €/km a 1,08 €/km. Un cop va tocar fons al 2009, el preu del combustible es va alçar fins a 1,43 €/km l'any 2013, a causa de la reactivació de l'economia i sobretot per l'augment demanda d'aquests per part de les economies emergents. Posteriorment, altra vegada el preu va tornar a caure i probablement va ser degut al fet que l'oferta creixia mentre que la demanda no reaccionava per motius com: la desacceleració de l'Economia xina o l'augment d'una producció de petroli diferent de la forma convencional dels Estats Units, com és el *fracking*.

Per últim, les dades referents a **PIB per càpita** de Catalunya mostren una variabilitat baixa, en concret l'actual variable presenta el coeficient de variació més baix de totes. A continuació, es mostra el gràfic 6 on es pot veure que la seva tendència va lligada a la conjuntura econòmica del país. En èpoques d'expansió el PIB per càpita augmenta, fins a un pic màxim de 34159,32 €; mentre que en èpoques de crisi experimenta una forta disminució caient fins als 27094,38 €. De fet, la seva mitjana se situa a 30724,00 €. A efectes del 2016, es pot veure com encara no s'ha recuperat el nivell de PIB per càpita anterior a l'esclat de la crisi econòmica.

Gràfic 6: Evolució del PIB per càpita



Font: Elaboració pròpia a partir de l'IDESCAT

Capítol IV. Modelització

Un cop s'ha introduït el marc d'actuació i les variables amb la seva respectiva anàlisi descriptiva, s'ha procedit a formalitzar el model de demanda de les autopistes de peatge.

3.1 Model

A partir de les anàlisis realitzades, per observar la sensibilitat al trànsit dels usuaris de les autopistes de peatge es proposa com a variable endògena el logaritme de la Intensitat Mitjana Diària, i com a les possibles variables explicatives: el logaritme del peatge, el logaritme del preu del combustible, el logaritme del PIB per càpita, el logaritme de la distància a Barcelona, la variable fictícia referent a l'obertura del tram A-2, i una variable de tendència. Entrant més en detall, les variables proposades són les següents:

- **L_IMD** correspon al logaritme de la Intensitat Mitjana Diària, varia per tram i al llarg del temps, i es mesura amb veh/dia.
- **L_PEATGE** correspon al logaritme de la quantitat que s'ha de pagar per utilitzar una via, varia per tram i al llarg del temps, i es mesura amb €/km.
- **L_COMBUST** correspon al logaritme del preu del combustible, només varia al llarg del temps, és a dir, que es manté constant pels trams, i es mesura amb €/l.
- **L_PIBpc** correspon al PIB per càpita, és a dir, a l'aproximació de la riquesa de l'economia, només varia al llarg temps i es mesura amb €.
- **L_DISTABCN** correspon al logaritme del possible efecte en el trànsit que pot causar la proximitat a Barcelona, només varia per trams i es mesura amb kilòmetres.
- **TRAMA2** és una variable fictícia que pren valor 0 fins que es dona a lloc l'obertura del tram A-2 entre Caldes de Malavella i Fornells de la Selva l'any 2008, passant a prendre valor 1.
- **TIME** és una variable creada per tal de captar la tendència creixent de les variables, que parteix d'un valor 1 fins a T.

3.2 Anàlisi economètrica

En primer lloc, es realitzarà l'estimació del model de demanda de l'AP-7 Nord per Mínims Quadrats Ordinaris (MQO) de cada tram i, posteriorment, es realitzarà amb dades de panell.

En les dues estimacions, s'utilitza el procediment de *Backward Stepwise Regression*, en el qual es parteix del model de regressió amb totes les variables explicatives i, en cada etapa es va eliminant la variable menys influent o menys significativa segons el contrast individual de la t (o de la F) o també per l'anomenat p valor, essent el nivell de significació del 5%. A més a més, se centra una especial atenció al criteri d'informació d'Akaike, el qual ajudarà a seleccionar el model més adient.

3.2.1 Estimació per Mínims Quadrats Ordinaris (MQO)

A continuació es realitza l'estimació per Mínims Quadrats Ordinaris (MQO) dels trams que compten amb peatge directe per a l'usuari, és a dir, el tram entre La Jonquera i Girona Nord, el tram entre Girona Sud i Massanet de la Selva, el tram entre Massanet de la Selva i Granollers i el tram entre el Papiol i Tarragona Est. No s'ha dut terme l'estimació en solitari dels trams que no compten amb peatge, ja que per aquests trams el valor del preu del peatge és 0. Tanmateix, la variable fictícia TRAMA2_t només s'inclourà en el tram del qual aquest en sigui la via alternativa, és a dir, en el tram entre Girona Sud i Massanet de la Selva, ja que per la resta de trams el valor de la variable és 0. Tampoc s'ha inclòs en els models el logaritme de la variable DISTABCN_t ja que els valors de la variable no varien al llarg de cada tram. Així doncs, a grans trets el model a estimar per cada tram és el següent:

$$1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBPC_t + \beta_4 TRAMA2_t + \beta_5 TIME_t + U_t$$

Un cop s'ha especificat el model, ja es pot procedir a l'anàlisi de l'estimació del model per cada tram.

Estimació del model en el tram 1: La Jonquera – Girona Nord

Per tal de clarificar el procediment s'han escrit els models utilitzats per realitzar l'anàlisi economètric juntament amb el resum dels resultats de les seves estimacions.

Model 1: $1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBPC_t + \beta_4 TIME_t + U_t$

Model 2: $1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$

TAULA 8: Estimació per MQO del tram entre la Jonquera i Girona Nord

	β_1 l_PEATGE t	β_2 l_COMBUST t	β_3 l_PIBPC t	β_4 TIME t	AIC
Model 1	$\beta = 0,530$ Prob= 0.041 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = -0,071$ Prob= 0.399 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 1,218$ Prob= 4.6e-06 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,0184$ Prob= 3.03e-05 < 0,05 --> Significatiu	-71.522
Model 2	$\beta = 0,654$ Prob= 0.003 < 0,05 --> Significatiu	-	$\beta = 1,291$ Prob= 1.1e-07 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,017$ Prob= 5.01e-06 < 0,05 --> Significatiu	-72,400

Font: Elaboració pròpia

Així doncs, en primer lloc s'ha realitzat l'estimació del model 1. Es pot veure com només resulta ser no significativa al 5% la variable l_COMBUST_t. Per tant, s'ha decidit realitzar un nou model (2) sense aquesta variable, en el qual la resta de variables ja resulten ser significatives al 5%.

A continuació, per tal de seleccionar el model més adient, és necessari fixar-se en el criteri d'informació d'Akaike, el qual assenyala que com més petit és el valor tenint en compte el seu signe més adient és el model. Així doncs, en aquesta situació ens informa que el model a escollir ha de ser el 2:

$$l_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_t + \beta_2 l_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$$

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-15 Variable dependiente: l_IMD					
	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-2.07521	1.0255	-2.0236	0.0680	*
l_PEATGE	0.65416	0.173752	3.7649	0.0031	***
l_PIBPC	1.29149	0.107427	12.0220	<0.0001	***
TIME	0.0171363	0.00208349	8.2248	<0.0001	***
Media de la vble. dep.	9.919807	D.T. de la vble. dep.		0.076575	
Suma de cuad. residuos	0.004129	D.T. de la regresión		0.019373	
R-cuadrado	0.949708	R-cuadrado corregido		0.935991	
F(3, 11)	69.24023	Valor p (de F)		1.99e-07	
Log-verosimilitud	40.19983	Criterio de Akaike		-72.39966	
Criterio de Schwarz	-69.56746	Crit. de Hannan-Quinn		-72.42983	
rho	-0.171111	Durbin-Watson		2.132969	

D'altra banda, entrant més en detall es podria comprovar si els residus del present model estan autocorrelacionats seguint un AR(I) o si el model presenta un problema d'heteroscedasticitat. En primer lloc, per tal de comprovar si els residus estan autocorrelacionats, es proposa utilitzar el contrast de Durbin – Watson, el qual pren un valor entre 0 i 4. Com més pròxim és a 0, major és l'evidència de presentar autocorrelació positiva, mentre que com més pròxim és a 4, major és l'evidència de

presentar autocorrelació negativa. D'altra banda, quan el valor sigui 2, l'autocorrelació és nul·la. Així doncs, les hipòtesis del model són:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{No existeix autocorrelació segons un esquema AR(I)} \\ H_A: \text{Existeix autocorrelació segons un esquema AR(I)} \end{array} \right.$$

El Gretl, mitjançant l'estimació per MQO ens dona directament el valor $DW = 2,13297$, juntament amb el seu p valor de 0,24043. D'entrada, ja es pot veure com el valor s'aproxima molt a 2, indicant la no existència d'autocorrelació segons un esquema AR(1), i així ho corrobora el p valor, que essent superior a 0,05 no rebutja la hipòtesi nul·la de no existència d'autocorrelació en els residus.

En segon lloc, de cara a comprovar si el model presenta un problema d'heteroscedasticitat, es proposa realitzar el contrast de White. Essent les seves hipòtesis:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \sigma_i^2 = \sigma^2 \rightarrow \text{Homoscedasticitat} \\ H_A: \text{No } H_0 \rightarrow \text{Heteroscedasticitat} \end{array} \right.$$

El Gretl ofereix realitzar directament el contrast de White des de la mateixa estimació per MQO de manera que els resultats són els següents:

Estadístico de contraste: $TR^2 = 13.342836$,
con valor p = $P(\text{Chi-cuadrado}(9) > 13.342836) = 0.147697$

Així doncs, es pot veure com la probabilitat associada al contrast, que es distribueix com una $\chi^2(9)$, és superior a 0,05, per tant no rebutjant-se la hipòtesi nul·la d'homoscedasticitat es confirma que el model no presenta un problema d'heteroscedasticitat.

Finalment, un cop s'ha comprovat la validesa del model, si s'observen els coeficients dels paràmetres estimats, totes les variables significatives presenten valors positius pel que difereix del que teòricament s'esperava, ja que el peatge s'esperava que fos negatiu. D'aquesta manera, en aquest tram els valors de les elasticitats del preu del peatge i del PIB per càpita són de 0,654 i de 1,292, respectivament. Així doncs, per cada augment del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,654%. Això pot ser degut al fet que per a l'usuari ha augmentat relativament més el seu nivell adquisitiu, de manera que no l'afecta haver de pagar un peatge més elevat. D'altra banda, per cada augment del PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,654%.

Estimació del model en el tram Tram 3: Girona Sud – Massanet de la Selva

A continuació es presenten els models estimats per tal de clarificar el procediment dut a terme, juntament amb el resum dels resultats de les seves estimacions.

$$\text{Model 1: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBPC_t + \beta_4 TRAMA2_t + \beta_5 TIME_t + U_t$$

$$\text{Model 2: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBPC_t + \beta_4 TRAMA2_t + U_t$$

$$\text{Model 3: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_COMBUST_t + \beta_2 1_PIBPC_t + \beta_3 TRAMA2_t + U_t$$

$$\text{Model 4: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_COMBUST_t + \beta_2 1_PIBPC_t + U_t$$

Taula 9: Estimació per MQO del tram entre Girona Sud i Massanet de la Selva

	$\beta_1 1_PEATGE_t$	$\beta_2 1_COMBUST_t$	$\beta_3 1_PIBPC_t$	$\beta_4 TRAMA2_t$	$\beta_5 TIME_t$	AIC
Model 1	$\beta = -0,559$ Prob= 0.362 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = -0,267$ Prob= 0.138 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 1,559$ Prob= 0.001 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,033$ Prob= 0.138 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,004$ Prob= 0.692 > 0,05 --> No significatiu	-53.476
Model 2	$\beta = -0,346$ Prob= 0.202 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,311$ Prob= 0.025 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 1,651$ Prob= 4.6e-05 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,052$ Prob= 0.076 > 0,05 --> No significatiu	-	-55.199
Model 3	-	$\beta = 0,374$ Prob= 0.007 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 1,865$ Prob= 9.7e-07 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,045$ Prob= 0.120 > 0,05 --> No significatiu	-	-54.629
Model 4	-	$\beta = 0,415$ Prob= 0.004 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 1,677$ Prob= 3.5e-07 < 0,05 --> Significatiu	-	-	-53.191

Font: Elaboració pròpia

Així doncs, tal com s'ha realitzat en l'estimació del tram anterior, s'ha començat estimant el model 1 i s'ha anat eliminant la variable menys significativa al 5%, fins que s'ha arribat al model 4 on ja totes les variables resulten ser significatives. En aquesta ocasió, les variables en qüestió són el preu del combustible i el PIB per càpita. Excepcionalment, el peatge no ha resultat ser significatiu. Tot i així, el criteri d'Akaike informa de que el model a seleccionar és el model 2, el qual inclou l'esmentada variable no significativa i la variable 1_TRAMA2_t . Així doncs, el model a estimar és el següent:

$$1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBpc_t + \beta_4 TRAMA2_t + U_t$$

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-15 Variable dependiente: l_IMD					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-7.64226	2.18864	-3.4918	0.0058	***
l_PEATGE	-0.346386	0.253407	-1.3669	0.2016	
l_COMBUST	0.311337	0.118309	2.6316	0.0251	**
l_PIBPC	1.65069	0.242059	6.8194	<0.0001	***
TRAMA2	0.0522926	0.026373	1.9828	0.0755	*
Media de la vble. dep.	10.28720	D.T. de la vble. dep.		0.110258	
Suma de cuad. residuos	0.011374	D.T. de la regresión		0.033725	
R-cuadrado	0.933171	R-cuadrado corregido		0.906440	
F(4, 10)	34.90904	Valor p (de F)		7.55e-06	
Log-verosimilitud	32.59950	Criterio de Akaike		-55.19900	
Criterio de Schwarz	-51.65875	Crit. de Hannan-Quinn		-55.23671	
rho	-0.407523	Durbin-Watson		2.568002	

Entrant més en detall es podria comprovar si els residus del present model estan autocorrelacionats seguint un esquema AR(I) o si el model presenta un problema d'heteroscedasticitat. En primer lloc, tal com s'ha comentat en l'estimació del tram anterior, per tal de comprovar si els residus estan autocorrelacionats seguint un esquema AR(I) es proposa utilitzar el contrast de Durbin – Watson. En aquest cas, el mateix Gretl dins l'estimació per MQO ens dóna directament el valor DW= 2,568, juntament amb el seu p valor de 0,474. Per tant, com el p valor és superior a 0,05 es pot afirmar que en aquesta situació el model no presenta autocorrelació en els residus seguint un esquema AR(I).

En segon lloc, tal com s'ha exposat en l'estimació del tram anterior, de cara a comprovar si el model presenta un problema d'heteroscedasticitat, es proposa realitzar el contrast de White. En aquesta situació el Gretl ofereix realitzar-lo directament, de manera que els resultats són els següents:

Estadístico de contraste: $TR^2 = 14.905515$,
con valor p = $P(\text{Chi-cuadrado}(13) > 14.905515) = 0.313288$

Així doncs, es pot veure com la probabilitat associada al contrast, que es distribueix com una $\chi^2(13)$, és superior a 0,05, per tant no rebutjant-se la hipòtesi nul·la d'homoscedasticitat es confirma que el model no presenta un problema d'heteroscedasticitat.

Finalment, un cop s'ha comprovat la validesa del model, si s'observen els coeficients dels paràmetres estimats de totes les variables significatives, es pot veure que presenten uns valors coherents amb el que teòricament s'esperava. D'aquesta manera, en aquest tram, si s'és estricte en el nivell de significació al 5%, les elasticitats del preu del combustible i del PIB per càpita són de 0,311 i de 1,651, respectivament. Així doncs, per cada increment del preu del combustible en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,311%. D'altra banda, per cada augment del PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 1,651%.

Estimació del model en el tram 4: Massanet de la Selva - Granollers

Per tal de clarificar el procediment a continuació es presenta la consecució dels models estimats, juntament amb un resum dels resultats de les seves estimacions.

$$\text{Model 1: } l_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_t + \beta_2 l_COMBUST_t + \beta_3 l_PIBPC_t + \beta_4 TIME_t + U_t$$

$$\text{Model 2: } l_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_t + \beta_2 l_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$$

Taula 10: Estimació per MQO del tram entre Massanet de la Selva i Granollers

	$\beta_1 l_PEATGE_t$	$\beta_2 l_COMBUST_t$	$\beta_3 l_PIBPC_t$	$\beta_4 TIME_t$	AIC
Model 1	$\beta = -1,300$ Prob= 0.009 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = -0,063$ Prob= 0.677 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,400$ Prob= 0.126 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,026$ Prob= 0.0003 < 0,05 --> Significatiu	-54.318
Model 2	$\beta = -1,189$ Prob= 0.002 < 0,05 --> Significatiu	-	$\beta = 0,463$ Prob= 0.027 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,025$ Prob= 3.4e-05 < 0,05 --> Significatiu	-56.045

Font: Elaboració pròpia

Com en les altres ocasions, l'estimació del tram entre Massanet de la Selva i Granollers parteix del model 1, el qual conté totes les variables, i es pot veure com eliminant la variable $l_COMBUST_t$, totes les variables del nou model (2) ja són significatives al 5%.

També, per tal de seleccionar el model més adient s'observa el criteri d'Akaike, el qual informa que el model escollit ha de ser el 2:

$$l_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_t + \beta_2 l_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$$

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-15 Variable dependiente: l_IMD					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	2.87235	1.76781	1.6248	0.1325	
l_PEATGE	-1.189	0.291377	-4.0806	0.0018	***
l_PIBPC	0.463111	0.182024	2.5442	0.0273	**
TIME	0.0245941	0.00367345	6.6951	<0.0001	***
Media de la vble. dep.	10.74457	D.T. de la vble. dep.		0.067234	
Suma de cuad. residuos	0.012283	D.T. de la regresión		0.033416	
R-cuadrado	0.805910	R-cuadrado corregido		0.752976	
F(3, 11)	15.22486	Valor p (de F)		0.000313	
Log-verosimilitud	32.02273	Criterio de Akaike		-56.04545	
Criterio de Schwarz	-53.21325	Crit. de Hannan-Quinn		-56.07562	
rho	-0.089062	Durbin-Watson		2.089722	

En primer lloc, per tal de comprovar la validesa del model, s'observa el contrast de Durbin-Watson, el qual la mateixa estimació per MQO dóna directament el valor DW= 2,090, amb una probabilitat associada de 0,211. Per tant, al presentar un p valor inferior a 0,05 no es rebutja la hipòtesi nul·la corroborant així que els residus no estan autocorrelacionats seguint un esquema AR(1).

En segon lloc, es proposa comprovar si el model presenta heteroscedasticitat mitjançant el contrast de White, el qual la mateixa estimació per MQO n'ofereix els següents resultats:

Estadístico de contraste: $TR^2 = 5.785173$,
con valor p = $P(\text{Chi-cuadrado}(9) > 5.785173) = 0.761212$

Així doncs, es pot veure com la probabilitat associada al contrast, que es distribueix com una $\chi^2(9)$, és superior a 0,05, per tant no rebutjant-se la hipòtesi nul·la d'homoscedasticitat es confirma que el model no presenta un problema d'heteroscedasticitat.

Per últim, un cop s'ha comprovat la validesa del model, si s'observen els coeficients dels paràmetres estimats totes les variables significatives, presenten valors coherents amb el que teòricament s'esperava. D'aquesta manera, els valors de les elasticitats del preu del peatge i del PIB per càpita són de -1,189 i de 0.463, respectivament. Així doncs, per cada increment del preu del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana diària disminuiria en un 1,189%. D'altra banda, per cada increment de la variable PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,463%.

Estimació del model en el tram 6: El Papiol – Tarragona Est

Per tal de clarificar el procediment es presenten models estimats, juntament amb el resum dels resultats de les seves estimacions.

$$\text{Model 1: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_COMBUST_t + \beta_3 1_PIBPC_t + \beta_4 TIME_t + U_t$$

$$\text{Model 2: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$$

$$\text{Model 3: } 1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 TIME_t + U_t$$

Taula 11: Estimació per MQO del tram entre el Papiol i Tarragona Est

	$\beta_1 1_PEATGE_t$	$\beta_2 1_COMBUST_t$	$\beta_3 1_PIBPC_t$	$\beta_4 TIME_t$	AIC
Model 1	$\beta = -0,653$ Prob= 0.304 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,120$ Prob= 0.593 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,630$ Prob= 0.111 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,026$ Prob= 0.004 < 0,05 --> Significatiu	-42.347
Model 2	$\beta = -0,866$ Prob= 0.079 > 0,05 --> No significatiu	-	$\beta = 0,508$ Prob= 0.092 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,029$ Prob= 0.0003 < 0,05 --> Significatiu	-43.897
Model 3	$\beta = -1,181$ Prob= 0.023 < 0,05 --> Significatiu	-	-	$\beta = 0,026$ Prob= 0.0008 < 0,05 --> Significatiu	-41.847

Font: Elaboració pròpia

En el moment inicial, es parteix del model 1, el qual conté totes les variables. A partir d'aquí, es van eliminant successivament les variables menys significatives fins arribar al model 3 on totes les variables ja són significatives al 5%.

També, per tal de seleccionar el model s'observa el criteri d'informació d'Akaike, el qual informa que el model a escollir ha de ser el 2:

$$1_IMD_t = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_t + \beta_2 1_PIBPC_t + \beta_3 TIME_t + U_t$$

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-15 Variable dependiente: 1_IMD				
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>
const	3.0421	2.64955	1.1482	0.2753
1_PEATGE	-0.866127	0.446598	-1.9394	0.0785 *
1_PIBPC	0.507863	0.275036	1.8465	0.0919 *
TIME	0.0285273	0.00547905	5.2066	0.0003 ***
Media de la vble. dep.	10.59335	D.T. de la vble. dep.		0.087680
Suma de cuad. residuos	0.027608	D.T. de la regresión		0.050098
R-cuadrado	0.743489	R-cuadrado corregido		0.673531
F(3, 11)	10.62770	Valor p (de F)		0.001404
Log-verosimilitud	25.94865	Criterio de Akaike		-43.89730
Criterio de Schwarz	-41.06510	Crit. de Hannan-Quinn		-43.92747
rho	0.015308	Durbin-Watson		1.899116

Per tal de comprovar la validesa del model, primer es proposa observar el contrast de Durbin-Watson, el qual la mateixa estimació per MQO dóna directament el valor $DW = 1,899$, amb una probabilitat associada de $0,114$. Per tant, al presentar una probabilitat inferior a $0,05$ no es rebutja la hipòtesi nul·la corroborant així que els residus no estan autocorrelacionats seguint un esquema $AR(1)$.

En segon lloc, es proposa comprovar si el model presenta heteroscedasticitat mitjançant el contrast de White, el qual la mateixa estimació per MQO n'ofereix els següents resultats:

Estadístico de contraste: $TR^2 = 12.844544$,
con valor $p = P(\text{Chi-cuadrado}(9) > 12.844544) = 0.169768$

Així doncs, es pot veure com la probabilitat associada al contrast, que es distribueix com una $\chi^2(9)$, és superior a $0,05$, per tant no rebutjant-se la hipòtesi nul·la d'homoscedasticitat es confirma que el model no presenta un problema d'heteroscedasticitat.

Per últim, un cop s'ha comprovat la validesa del model, si s'és estricte utilitzant un nivell de significació del 5% només resultaria ser significativa la variable $TIME_t$. En canvi, si es fos menys estricte i s'utilitzés un nivell de significació del 10% les variables l_PEATGE_t i l_PIBPC_t passarien a ser significatives, i presentarien valors coherents amb el que teòricament s'esperava. D'aquesta manera, els valors de les elasticitats del preu del peatge i del PIB per càpita serien de $-0,866$ i de $0,508$, respectivament. Així doncs, per cada increment del preu del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària disminuiria en un 0,866%. D'altra banda, per cada increment del PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,508%.

3.2.2 Estimació amb dades de panell

Després d'aquesta anàlisi, s'intenta comprovar si en aquest context seria recomanable i més eficient realitzar una anàlisi mitjançant un model de dades de panell, que combina dades de tall transversal i de sèrie temporal. En aquest cas, les unitats de tall transversal es corresponen als trams, mentre que la variació temporal comprèn el període entre el 2002 i el 2016.

Aquest tipus de metodologia té per l'estudi que es presenta dos grans avantatges. En primer lloc, es disposarà d'un major nombre d'observacions, que això augmenta els graus de llibertat del model, i es redueix la possible multicolinealitat i, per tant, és possible que es millori l'eficiència de les estimacions. A més, utilitzant dades de panell es pot capturar l'heterogeneïtat no observable, tant pels que fa als diferents trams

d'autopista com també al llarg del període de temps considerat. Pel que fa als efectes individuals específics, aquests afecten de manera diferent a cadascun dels trams, que són invariables en el temps. D'altra banda, els efectes temporals afecten d'igual manera a tots els trams.

Bàsicament, l'estimació amb dades de panell es pot realitzar mitjançant efectes fixos o efectes aleatoris. El model d'efectes fixos considera que hi ha un terme constant diferent per a cada individu (en aquest cas, el tram d'autopista) i suposa que els efectes individuals són independents entre sí. D'aquesta manera, es considera que les variables explicatives afecten per igual als trams d'autopista i que aquestes es diferencien per característiques pròpies que es mesuren amb la constant. D'altra banda, el model d'efectes aleatoris considera que els efectes individuals no són independents entre si, sinó que estan distribuïts de manera aleatòria al voltant d'un valor donat. En el cas de l'estimació amb efectes aleatoris, el mètode de Mínims Quadrats Ordinaris (MQO) no es pot aplicar, ja que no hi hauria consistència, i s'utilitza el mètode de Mínims Quadrats Generalitzats (MQG).

Per tal de realitzar aquest tipus d'anàlisi, en primer lloc es fa l'estimació del model mitjançant efectes fixos:

$$l_IMD_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_{i,t} + \beta_2 l_COMBUST_{i,t} + \beta_3 l_PIBPC_{i,t} + \beta_4 TRAMA2_{i,t} + \beta_5 TIME_{i,t} + U_{i,t}$$

On el subíndex i representa el tram de l'autopista (i=1,...,N) i el subíndex t expressa el període (t= 1, ..., T).

Per tal de clarificar el procediment dut a terme per escollir el model més adient es presenten models estimats, juntament amb el resum dels resultats de les seves estimacions.

Model 1: $l_IMD_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_{i,t} + \beta_2 l_COMBUST_{i,t} + \beta_3 l_PIBPC_{i,t} + \beta_4 TRAMA2_{i,t} + \beta_5 TIME_{i,t} + U_{i,t}$

Model 2: $l_IMD_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_{i,t} + \beta_2 l_PIBPC_{i,t} + \beta_3 TRAMA2_{i,t} + \beta_4 TIME_{i,t} + U_{i,t}$

Taula 12: Estimació amb dades de panell

	β_{11} PEATGE	β_{21} COMBUST	β_{31} PIBpc	β_{41} TRAMA2	β_5 TIME	AIC
Model 1	$\beta = -0,898$ Prob= 0.0064 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = -0,009$ Prob= 0.939 > 0,05 --> No significatiu	$\beta = 0,729$ Prob= 0.0003 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = -0,166$ Prob= 3.9e-06 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,026$ Prob= 1.1e-08 < 0,05 --> Significatiu	-172.3285
Model 2	$\beta = -0,883$ Prob= 0.0006 < 0,05 --> Significatiu	-	$\beta = 0,739$ Prob= 7.2e-06 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = -0,166$ Prob= 2.9e-06 < 0,05 --> Significatiu	$\beta = 0,026$ Prob= 2.8e-011 < 0,05 --> Significatiu	-174.3214

Font: Elaboració pròpia

En primer lloc, es realitza l'estimació del model 1 en la qual es pot veure com totes les variables resulten ser significatives al 5%, menys la variable $1_COMBUST_{i,t}$. Per tant, s'estima un nou model (2) sense aquesta variable, i com es pot veure ja s'obté un model on totes les variables són significatives.

També, per tal de seleccionar el model s'observa el criteri d'Akaike, el qual informa de que el model a escollir ha de ser el 2:

$$1_IMD_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 1_PEATGE_{i,t} + \beta_2 1_PIBpc_{i,t} + \beta_3 TRAMA2_{i,t} + \beta_4 TIME_{i,t} + U_{i,t}$$

<p>Modelo 2: Efectos fijos, utilizando 60 observaciones Se han incluido 4 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 15 Variable dependiente: 1_IMD</p>					
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	0.508187	1.41325	0.3596	0.7206	
1_PEATGE	- 0.882541	0.240089	- 3.6759	0.0006	***
1_PIBPC	0.738543	0.148046	4.9886	<0.0001	***
TRAMA2	- 0.165713	0.0316219	- 5.2405	<0.0001	***
TIME	0.0256718	0.00304783	8.4230	<0.0001	***
Media de la vble. dep.	10.38623	D.T. de la vble. dep.		0.329437	
Suma de cuad. residuos	0.147260	D.T. de la regresión		0.053216	
R-cuadrado MCVF (LSDV)	0.977002	R-cuadrado 'intra'		0.652036	
F(7, 52) MCVF	315.5823	Valor p (de F)		2.92e-40	
Log-verosimilitud	95.16072	Criterio de Akaike		- 174.3214	
<p>Contraste de diferentes interceptos por grupos - Hipótesis nula: Los grupos tienen un intercepto común Estadístico de contraste: F(3, 52) = 159.503 con valor p = P(F(3, 52) > 159.503) = 3.30122e-026</p>					

A partir d'aquests resultats es contrasta si cal estimar amb dades de panell o és suficient fer l'estimació per MQO sense tenir en consideració el panell de dades. El contrast en qüestió és el Contrast de diferents interceptes per grups, en el qual les hipòtesis a contrastar són:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{Els grups tenen una constant igual} \rightarrow \text{Estimació per MQO} \\ H_A: \text{No } H_0 \rightarrow \text{Estimació amb dades de panell} \end{array} \right.$$

Si ens situem sota la hipòtesi nul·la la conclusió, significaria que és millor l'estimació sense tenir en compte el panell de dades. Com que la probabilitat associada al contrast, que es distribueix com una F (3, 52) és inferior a 0,05 (emprant un nivell de significació

del 5%), es rebutja la hipòtesi nul·la. Per tant, el contrast porta a concloure que és millor realitzar l'estimació emprant dades de panell.

Si s'observen els coeficients de l'estimació, els valors de les variables significatives presenten un signe coherent amb el qual s'esperava teòricament. D'aquesta manera, els valors de les elasticitats del preu del peatge i del PIB per càpita són de - 0.883 i de 0,739, respectivament. Així doncs, per cada increment del preu del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària disminuiria en un 0,883%. En canvi, per cada increment del PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,739%. D'altra banda, es podria expressar que a partir de l'obertura del tram A-2, la Intensitat Mitjana Diària disminueix un 0,00017%.

Un cop decidit que és més eficient utilitzar l'estimació de dades de panell, cal determinar si és millor emprar l'estimació mitjançant efectes fixos o efectes aleatoris. Per fer aquesta anàlisi es realitza l'estimació per efectes aleatoris. En aquest tipus d'estimació només formaran part del model les variables que varien per tram i al llarg del temps, així que el model a estimar és el següent:

$$l_IMD_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 l_PEATGE_{i,t} + \beta_2 TIME_{i,t} + U_{i,t}$$

Abans, però, com que no s'inclou la variable $l_PIBPC_{i,t}$, ni la variable $TRAMA2_{i,t}$ s'ha considerat necessari realitzar l'estimació per efectes fixos i comprovar si l'estimació amb dades de panell continua sent l'estimació eficient. Així doncs, els resultats de l'estimació són els següents:

<p>Modelo 1: Efectos fijos, utilizando 60 observaciones Se han incluido 4 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 15 Variable dependiente: l_IMD</p>					
	<i>Coeficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	7.46357	0.768528	9.7115	<0.0001	***
l_PEATGE	- 1.19102	0.316391	- 3.7644	0.0004	***
TIME	0.0164506	0.00406871	4.0432	0.0002	***
Media de la vble. dep.	10.38623	D.T. de la vble. dep.		0.329437	
Suma de cuad. residuos	0.322170	D.T. de la regresión		0.077241	
R-cuadrado MCVF (LSDV)	0.949686	R-cuadrado 'intra'		0.238735	
F(5, 54) MCVF	203.8518	Valor p (de F)		9.25e-34	
Log-verosimilitud	71.67428	Criterio de Akaike		- 131.3486	
<p>Contraste de diferentes interceptos por grupos - Hipótesis nula: Los grupos tienen un intercepto común Estadístico de contraste: F(3, 54) = 69.3433 con valor p = P(F(3, 54) > 69.3433) = 1.60377e-018</p>					

El contrast de diferents interceptes per grups corrobora que és millor l'estimació amb dades de panell, ja que la probabilitat associada al contrast és inferior a 0,05, rebutjant així la hipòtesi nul·la.

Un cop s'ha comprovat que és més eficient l'estimació amb dades de panell, ja es pot procedir a estimar el model per efectes aleatoris per tal de determinar quin enfocament és millor. Així doncs, els resultats són els següents:

<p>Modelo 1: Efectos aleatorios (MCG), utilizando 60 observaciones Se han incluido 4 unidades de sección cruzada Largura de la serie temporal = 15 Variable dependiente: l_IMD</p>					
	<i>Coefficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>z</i>	<i>Valor p</i>	
const	6.97626	0.775947	8.9907	<0.0001	***
l_PEATGE	- 1.39171	0.317466	- 4.3838	<0.0001	***
TIME	0.018576	0.00413188	4.4958	<0.0001	***
Media de la vble. dep.	10.38623	D.T. de la vble. dep.		0.329437	
Suma de cuad. residuos	3.372924	D.T. de la regresión		0.241151	
Log-verosimilitud	1.220628	Criterio de Akaike		3.558743	
Criterio de Schwarz	9.841777	Crit. de Hannan-Quinn		6.016383	
<p>Varianza 'entre' (between) = 0.0273529 Varianza 'dentro' (Within) = 0.00596612 theta usado para quasi-demeaning (cuasi-centrado de los datos) = 0.880281</p>					
<p>Contraste de Hausman Hipótesis nula: Los estimadores de MCG son consistentes Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(2) = 6.13451 con valor p = 0.0465488</p>					

En primer lloc, si s'observen els coeficients dels paràmetres estimats totes les variables significatives presenten uns signes coherents amb els quals s'esperava. D'aquesta manera, el valor de l'elasticitat del preu del peatge és de -1,392. Així doncs, per cada increment del preu del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària disminuiria en un 1,392%.

Per últim, l'encarregat de determinar quina és l'estimació més eficient és el Contrast de Hausman, en el qual les hipòtesis a contrastar són:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \text{Els estimadors MQG són consistents} \rightarrow \text{Efectes aleatoris} \\ H_A: \text{No } H_0 \rightarrow \text{Efectes fixos} \end{array} \right.$$

Si ens situem sota la hipòtesi nul·la, la conclusió seria que és millor l'estimació per efectes aleatoris, en cas contrari seria millor l'estimació per efectes fixos. El resultat del contrast porta a rebutjar la hipòtesi nul·la, ja que la probabilitat associada al contrast, que correspon a una $F(5,53)$, és inferior a 0,05. Per tant, el contrast porta a concloure que és millor realitzar l'estimació emprant dades de panell per efectes fixos, és a dir, que és justament en aquesta estimació on s'extreuen les conclusions més adients sobre la sensibilitat de la demanda de l'AP-7 Nord.

Capítol V. Conclusions

Des del segle passat, el conjunt d'autopistes, d'autovies, de vies ràpides i de carreteres convencionals que consoliden la xarxa de carreteres de l'Estat s'ha estès fins a arribar als 165.486 km (Ministeri de Foment, 2016). Particularment, pel cas de les autopistes de peatge, s'ha pogut veure com el nombre de kilòmetres ha crescut de forma desigual en tot el territori, quedant majoritàriament repartits entre Catalunya, la Comunitat Valenciana i Galícia. El mateix succeeix de cara als kilòmetres d'autopista que disposen les societats concessionàries, essent-ne les principals posseïdores Acesa, Aumar, Avasa, Audasa i Madrid – Levante. De fet, entre els kilòmetres disposats per Acesa, es troba el cas d'estudi presentat en aquest treball: l'autopista catalana AP-7 Nord, dividida en 6 trams. Aquesta divisió s'ha basat en què cada tram de l'autopista s'ha de poder comparar amb una via alternativa de qualitat similar gratuïta.

Davant aquest escenari, en el present treball s'ha realitzat una recerca sobre els principals factors que determinen la demanda en autopistes de peatge i, posteriorment, ja s'ha procedit a analitzar la sensibilitat de la demanda en l'AP-7 Nord mitjançant un model economètric.

En primer lloc, s'ha elaborat un model per cada tram mitjançant l'estimació per Mínims Quadrats Ordinaris (MQO). Com hi ha 2 trams en els quals el preu del peatge és 0, només s'ha realitzat l'estimació dels 4 models restants, en les quals s'ha pogut observar que pels trams: la Jonquera – Girona Nord, Massanet de la Selva – Granollers i el Papiol – Tarragona Est, la sensibilitat de la demanda depèn del preu del peatge, del PIB per càpita i d'una variable de tendència. D'altra banda, pel tram entre Girona Sud i Massanet de la Selva, la sensibilitat de la demanda depèn del preu del combustible i del PIB per càpita.

En segon lloc, s'ha analitzat la sensibilitat de la demanda en les autopistes de peatge mitjançant un model de dades de panell, el qual combina dades de tall transversal (trams) i de sèrie temporal. Aquesta ha permès determinar quina és l'estimació més recomanable i eficient en aquest context. Així doncs, en primer lloc s'ha realitzat la d'efectes fixos. En aquesta estimació, però, s'ha destacat el contrast d'intercepcions diferents per grups, el qual ha exposat que l'estimació adient és la de dades de panell. Seguidament, s'ha realitzat l'estimació per efectes aleatoris, on s'ha observat que la sensibilitat de la demanda depèn del peatge i de la variable de tendència. En aquesta estimació, s'ha destacat el contrast de Hausman, el qual davant els dos tipus d'efectes que presenta l'estimació amb dades de panell, exposa que el model més adient per mostrar la sensibilitat de la demanda és el d'efectes fixos.

D'aquesta manera, els resultats mostren que la sensibilitat de la demanda depèn del preu del peatge, del PIB per càpita, de l'obertura del tram A-2 i de la variable de tendència. En canvi, s'ha demostrat que, pel present cas d'estudi, la demanda no depèn del preu del combustible. Així doncs, s'ha observat que els valors de les elasticitats del preu del peatge i del PIB per càpita són de $-0,883$ i de $0,739$, respectivament. Per tant, els resultats confirmen que en ambdós casos la demanda de l'AP-7 Nord es mostra inelàstica davant els canvis d'aquests, però particularment els usuaris es mostren més sensibles davant els canvis en el preu del peatge. De manera que, per cada increment del preu del peatge en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària disminuiria en un 0,883%; mentre que per cada increment del PIB per càpita en un 1%, la Intensitat Mitjana Diària augmentaria en un 0,739%. Aquests valors, com s'ha pogut veure en la revisió de la literatura realitzada, són coherents amb el que s'esperava, tan en nombre com en signe. Cal tenir en compte, però, que els estudis realitzats al llarg del temps se centren en marcs d'actuació i períodes molt heterogenis entre ells. En primer lloc, de cara al preu del peatge, el rang de valors englobava un marc bastant ampli, concretament entre $-0,83$ i $-0,03$ en el curt termini, i entre $-0,15$ i $1,83$ en el llarg termini; però s'ha pogut veure com el resultat és molt similar a l'obtingut per Odeck i Brathan (2008) per autopistes de peatge a Noruega; i a l'obtingut en alguns trams per Matas i Raymond (2003) per autopistes interurbanes a Espanya. En segon lloc, els estudis realitzats en aquest àmbit respecte al PIB per càpita són escassos, però s'ha pogut comprovar com el resultat obtingut és molt similar a l'obtingut per Espey (1998).

Tanmateix, la sensibilitat de la demanda també depèn de l'obertura del tram A-2, entre Caldes de Malavella i Fornells de la Selva. En concret, a partir de l'obertura del tram A-2, la Intensitat Mitjana Diària disminueix en un 0,0017%. L'A-2 és la via alternativa que s'ha escollit pel tram d'autopista entre Girona Sud i Massanet de la Selva, així que els resultats de l'estimació han corroborat que una via alternativa de qualitat similar gratuïta té un efecte significatiu en la sensibilitat de l'AP-7 Nord.

Per últim, seria necessari comentar els aspectes que podrien millorar aquest treball i, per altra banda, tenir present les futures ampliacions que es podrien dur a terme.

Des del moment inicial, la creació de la base de dades ha resultat ser difícil. De fet, és per aquesta raó que en el present estudi s'ha restringit el marc d'actuació a l'AP-7 Nord i el període temporal 2002-2016. Davant aquesta restricció temporal, s'ha utilitzat l'estimació amb dades de panell, que aportant un major nombre d'observacions ha sigut capaç d'afrontar aquesta circumstància satisfactòriament. Tanmateix, per crear la base de dades s'han hagut de realitzar uns supòsits explicats al llarg de l'estudi i, per tant, aquesta en queda subjecta.

Finalment, com a camp d'investigació futur, proposaria tractar de recollir un període temporal més extens per així poder incloure totes les vies alternatives com a variables fictícies i poder-ne corroborar els possibles efectes significatius en la sensibilitat de la demanda de l'AP-7 Nord. I, d'altra banda, també seria ideal poder estendre l'estudi a tota l'AP-7.

Capítol VI. Bibliografia

Asensio, J., & Matas, A. (2005). Elasticidad del tráfico en las autopistas de peaje en contextos urbanos. Madrid: Ministerio de Fomento.

Busquets, M. (2016). Disseny de concessions d'autopistes madures "brownfields" després de vèncer el termini de concessió: el cas d'Abertis. Treball Final de Màster. Universitat Politècnica de Catalunya.

Espey, M. 1998. Gasoline Demand Revisited: An International Meta-Analysis of Elasticities. *Energy Economics* 20, pp. 273-295.

Goodwin, Phil B. (1992). A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes, *Journal of Transport Economics and Policy*, Vol. 26, pp. 155-169.

Harvey, G. (1994). Transportation Pricing and Travel Behavior. In: Transportation Research Board, Curbing Gridlock: Peak-Period Fees To Relieve Traffic Congestion (pp. 89-114). Washington D.C.: National Academic Press

IDESCAT (2002-2016). <https://www.idescat.cat/>

Matas, A. & Raymond, J. L. (2003). Demand Elasticity on Tolled Motorways, *Journal of Transportation and Statistics*, Vol. 6, No. 2-3, pp. 91-108.

Matas, A. & Ruiz, A. K. (2009). La supresión de peajes en España: un análisis empírico sobre el excedente del consumidor. Universitat Autònoma de Barcelona.

Mincotur (2002-2016). <https://www.mincotur.gob.es>

Ministerio de Fomento (2002-2016). <https://www.fomento.gob.es>

Odeck, J. & Brathan, S. (2008). Travel Demand Elasticities and Users Attitudes: A Case Study of Norwegian Toll Projects, *Transportation Research A*, Vol. 42, Issue 1, pp.77-94

RACC (2002–2016). <http://www.dgt.es/es/seguridad-vial/estadisticas-e-indicadores/parque-vehiculos/tablas-estadisticas/>